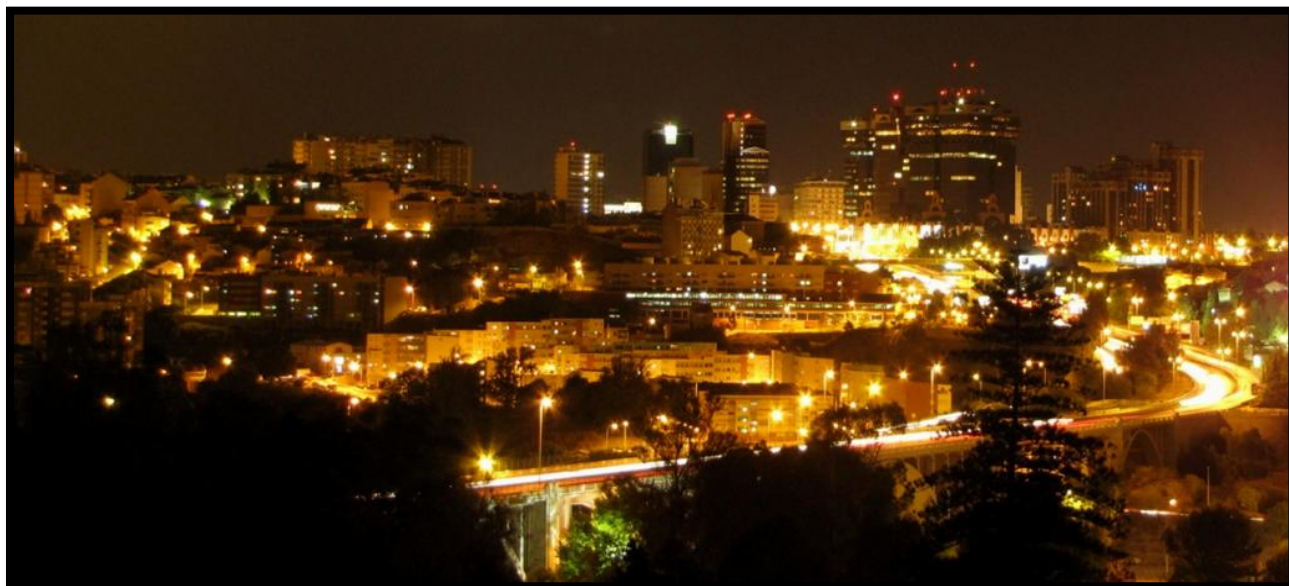




**Inês
Pereira da Silva**

Balanço de Dióxido de Carbono em Áreas Urbanas: Emissão e Sequestro





**Inês
Pereira da Silva**

Balanço de Dióxido de Carbono em Áreas Urbanas: Emissão e Sequestro

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Prof. Doutor Carlos Borrego, Professor Catedrático do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro e co-orientação da Doutora Helena Martins, Estagiária de Pós-Doutoramento do Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) da Universidade de Aveiro.

o júri

presidente

Doutora Ana Isabel Couto Neto da Silva Miranda

Professora Associada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Doutor Carlos Alberto Diogo Soares Borrego

Professor Catedrático do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Doutor Manuel Joaquim Sabença Feliciano

Professor Adjunto do Departamento de Ambiente e Recursos Naturais do Instituto Politécnico de Bragança-Escola Superior Agrária

Doutora Helena Margarida Gonçalves de Oliveira Martins

Estagiária de Pós-Doutoramento do Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

agradecimentos

No decurso deste trabalho tive o privilégio de contar com contributos de diversas pessoas, todos eles fundamentais à execução do trabalho aqui apresentado. Gostaria assim de prestar os meus agradecimentos:

Ao Professor Doutor Carlos Borrego e à Doutora Helena Martins pela orientação, disponibilidade e incentivo.

À Directora do Departamento de Ambiente e Espaços Verdes da Câmara Municipal de Lisboa, à Eng. Margarida Laginha e à Dra. Catarina Laranjo pela atenção e disponibilidade para facultar a informação solicitada, pelos esclarecimentos prestados e pela amabilidade das sugestões apresentadas.

À Eng.^a Ana Paula Rodrigues pela disponibilidade e amabilidade das sugestões apresentadas.

À Lisboa E-Nova, na pessoa da Eng. Joana Fernandes, pelos esclarecimentos prestados.

À Isabel Ribeiro pelo acolhimento e pela disponibilidade.

À Elsa e ao Marcos, pelo apoio e pelo tempo dispensados, ao Rui, à Sofia, à Mónica, ao Ricardo e aos outros colaboradores da IrRADIARE, Lda. pelo alento.

A todos aqueles que, embora não referidos, estiveram presentes e contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

palavras-chave

CO₂, emissões, sequestro, concelho de Lisboa.

resumo

Diversos estudos têm vindo a demonstrar que as emissões atmosféricas de origem antropogénica estão a induzir uma acumulação de gases com efeito estufa na atmosfera, causando alterações nas condições climáticas da terra.

Os centros urbanos, pela sua densidade populacional e pelas múltiplas actividades que apresentam, surgem como focos deste problema sendo fundamental agir no sentido de minimizar os seus impactes.

Sendo no concelho de Lisboa que se insere a maior cidade do país é evidente a importância de conhecer o seu contributo para a emissão nacional de gases com efeito de estufa e implementar estratégias de mitigação.

Deste modo, propõe-se com o presente trabalho a determinação do balanço de CO₂ no concelho de Lisboa. Visando este objectivo, determinou-se a quantidade de gases com efeito de estufa emitidos para a atmosfera, resultantes da combustão de fontes energéticas, assim como a quantidade de CO₂ assimilado pelos espaços verdes do concelho.

O resultado do balanço permitiu constatar que a capacidade de sequestro de CO₂ no concelho não é significativa quando comparada com as emissões de gases com efeito de estufa libertados para a atmosfera, dentro das fronteiras do concelho. Estes resultados são indicativos da necessidade adoptar mais medidas e novas políticas no sentido de reduzir as emissões de CO₂.

keywords

CO₂, emissions, sequestration, Municipality of Lisbon.

abstract

Several studies demonstrate that atmospheric emissions of anthropogenic origin are inducing the accumulation of greenhouse gases in the atmosphere, causing climate changes on earth.

The urban centres, because of their population density and the intense activity that they present appear as foci of this problem, being fundamental to take action in order to minimize their impacts.

Since the municipality of Lisbon includes the largest city in Portugal, it becomes evident the importance of knowing its contribution to the national greenhouse gases emissions and to define mitigation strategies accordingly.

Thus, the present work determines the balance of CO₂ in Lisbon municipality. Aiming at this goal, both the amount of greenhouse gases emitted into the atmosphere as a result of energy consumption as well as the amount of CO₂ assimilated by the city's green spaces were determined.

It's possible to conclude, as the outcome of this balance, that the ability of CO₂ sequestration in the municipality is meaningless when compared to the amount of emissions of greenhouse gases released into the atmosphere, within the boundaries of the city. These results are indicative of both the need to take adequate measures and to adopt new politics in order to reduce emissions.

Índice

1. Introdução.....	1
2. Efeito de Estufa: Causas e Mitigação	5
2.1 Alterações Climáticas.....	5
2.2 Efeito de Estufa	7
2.3 Gases com Efeito de Estufa.....	10
2.4 Ciclo do Carbono.....	14
2.5 Gases e Efeito de Estufa em Centros Urbanos	17
2.6 Mitigação de GEE: Enquadramento Político.....	21
3. Caso de Estudo: Concelho de Lisboa.....	25
3.1 Caracterização Socioeconómica e Mobilidade	25
3.2 Espaços Verdes e Áreas Protegidas	29
3.2.1 Espaços verdes	30
3.2.2 Parque Florestal de Monsanto	30
3.2.3 Estuário do Tejo.....	31
3.3 Caracterização Energética	31
3.4 Gestão de Resíduos.....	35
3.4.1 Resíduos sólidos urbanos	36
3.4.2 Águas residuais.....	37
3.5 Qualidade do ar	38
4 Balanço de CO ₂	41
4.1 Quantificação das Emissões de CO ₂	41
4.1.1 Abordagem metodológica.....	41
4.1.2 Cálculo das emissões de CO ₂	47

4.2	Determinação da Quantidade de CO ₂ Sequestrado	55
4.2.1	Abordagem metodológica	55
4.2.2	Quantidade de CO ₂ Sequestrado	57
4.3	Balanço de CO ₂	68
4.3.1	Abordagem metodológica	68
4.3.2	Balanço de CO ₂	69
5	Conclusões	71
6	Referências Bibliográficas	77
7	Anexos	83

Lista de Figuras

<i>Figura 2.1:</i> Variação da temperatura média e concentração de CO ₂ na atmosfera ao longo dos últimos 800 000 anos na Antártida (adaptado de EEA (2008)).....	6
<i>Figura 2.2:</i> Temperatura média global anual observada e temperatura média global anual estimada, para o período 1855 - 2006, anomalias na temperatura em relação à média de 1961-1990 e tendências de crescimento lineares para os últimos 25, 50, 100 e 150 anos (IPCC, 2007).	7
<i>Figura 2.3:</i> Estimativa do balanço radiativo do sistema atmosfera - Terra. Fonte: (IPCC, 2007).	8
<i>Figura 2.4:</i> Percentagem de absorção de radiação por gases com efeito de estufa e pela atmosfera (Adaptado de Ahrens, 2003).	9
<i>Figura 2.5:</i> Ciclo global de carbono. Stocks aproximados de carbono nos reservatórios (em GT) e fluxos de carbono (em Gt.ano ⁻¹) mais relevantes para a perturbação antropogénica. Os valores apresentados são referentes à média anual durante a década de 1989-1998 (Houghton, 2004).	15
<i>Figura 3.1:</i> Localização do concelho de Lisboa.	26
<i>Figura 3.2:</i> Espaços verdes e jardins do concelho de Lisboa.	29
<i>Figura 3.3:</i> Consumo total de energia no concelho de Lisboa por sector consumidor, 2002.	33
<i>Figura 3.4:</i> Consumo total de energia no concelho de Lisboa por vector energético, 2002.	34
<i>Figura 3.5:</i> Localização das unidades operacionais da VALORSUL (Valorsul, 2003).	36
<i>Figura 3.6:</i> Índice de qualidade do ar do concelho de Lisboa, no período de 2001 a 2008 (adaptado de APA, 2010).	38
<i>Figura 4.1:</i> Emissões de CO ₂ no concelho de Lisboa no ano 2002, por fonte de energia e por metodologia de cálculo.....	50
<i>Figura 4.2:</i> Emissões de CO ₂ no concelho de Lisboa por vector energético consumido, em 2002.	53
<i>Figura 4.3:</i> Emissões de CO ₂ no concelho de Lisboa por sector consumidor de energia, em 2002.....	53
<i>Figura 4.4:</i> Carta COS90 do concelho de Lisboa.	58
<i>Figura 4.5:</i> Carta CLC 2006 do concelho de Lisboa.	59
<i>Figura 4.6:</i> Carta IFN 3ª Rev. do concelho de Lisboa.	60
<i>Figura 4.7:</i> Áreas com potencial de sequestro de CO ₂ no concelho de Lisboa classificadas, não classificadas e de classificação estimada relativamente à composição vegetal.	62

Figura 4.8: PLE dos ecossistemas do concelho de Lisboa com potencial de sequestro de CO₂, considerados para o cálculo do balanço.....65

Figura 4.9: Distribuição percentual da área do concelho de Lisboa com potencial de sequestro de CO₂ por classe de uso do solo.....67

Figura 4.10: Distribuição percentual do sequestro de CO₂ do concelho de Lisboa por classe de uso do solo.....67

Lista de Tabelas

Tabela 2.1: <i>Principais gases com efeito de estufa e respectivos tempo de vida e potencial de aquecimento global para o horizonte temporal de 100 anos (Adaptado de IPCC, 2007)</i>	11
Tabela 3.1: <i>Matriz energética do concelho de Lisboa para o ano 2002 (Lisboa E-Nova, 2008)</i>	32
Tabela 4.1: <i>Factores de emissão de CO₂ standard e factores de emissão de CO₂eq LCA para os principais combustíveis (adaptado de COMO, 2010)</i>	44
Tabela 4.2: <i>Factores de Emissão de CO₂ Standard e Factores de emissão de CO₂eq LCA para a energia eléctrica (adaptado de COMO, 2010)</i>	46
Tabela 4.3: <i>Emissões de CO₂ do concelho de Lisboa no ano 2002, segundo a metodologia standard [tCO₂.ano⁻¹]</i>	48
Tabela 4.4: <i>Emissões de CO₂ do concelho de Lisboa no ano 2002, segundo a metodologia LCA [tCO₂eq.ano⁻¹]</i>	49
Tabela 4.5: <i>Factores de emissão utilizados para a realização da matriz de carbono de Lisboa e para as matrizes standard e LCA</i>	51
Tabela 4.6: <i>Composição arbórea estimada para o Parque Florestal de Monsanto</i>	61
Tabela 4.7: <i>Classes de uso do solo consideradas para o cálculo do balanço de CO₂ no concelho de Lisboa e respectiva área</i>	63
Tabela 4.8: <i>Resultados do cálculo do sequestro de CO₂ no concelho de Lisboa, com representação gráfica da percentagem de área e de CO₂ sequestrado por classe de uso do solo.</i>	66
Tabela 4.9: <i>Síntese de resultados obtidos: emissões, sequestro e balanço de CO₂, para o concelho de Lisboa no ano de 2002.</i>	69

1. Introdução

O Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC) tem vindo a alertar para a necessidade de reduzir as emissões mundiais de dióxido de carbono (CO₂) em pelo menos 50%, até 2050, de modo a evitar os piores impactos das alterações climáticas (IPCC, 2007).

Para alcançar as metas de redução de emissões de CO₂ foi aprovado, em 1997, o protocolo de Quioto, um tratado internacional vinculativo que obriga os países signatários a reduzir, globalmente, a emissão dos principais gases com efeito de estufa (CO₂, CH₄, N₂O, HCFs, PFCs e SF₆.) em, pelo menos, 5,2% relativamente aos níveis de 1990 no período entre 2008 e 2012 (United Nations, 1997).

Uma das iniciativas mais recentes da Comissão Europeia para alcançar as suas metas de redução de emissões consistiu na criação do Pacto dos Autarcas. As vilas, cidades e regiões signatárias deste pacto comprometem-se voluntariamente a reduzir as suas emissões de CO₂ em mais de 20% através da implementação de um pacote de acções para as energias renováveis e do aumento da eficiência energética.

Actualmente, mais de 50% da população mundial e cerca de 75% da população europeia reside em áreas urbanas, perspectivando-se que em 2020, na Europa, este valor atinja os cerca dos 80% podendo, inclusive, alcançar os 90% num número restrito de países Europeus. Assim, considerando as altas densidades populacionais dos centros urbanos e o seu estatuto como centros de riqueza e de criatividade, e como economias de escala, as cidades apresentam impactes significativos ao nível das alterações climáticas globais devendo, portanto, desempenhar um papel de destaque na mitigação das mesmas (EEA, 2006; Kennedy et al., 2009).

Devido à concentração da população e de actividades nos grandes centros urbanos as cidades apresentam consumos energéticos elevados para dar resposta às necessidades dos sectores doméstico, serviços, transportes e industrial. As emissões de gases com

efeito de estufa (GEE) provêm de uma variedade de fontes, incluindo a produção de energia, transportes, pequenas e médias empresas industriais, agricultura e queima de floresta. Muitas das emissões destas fontes estão intimamente relacionadas com a produção e o consumo de energia, especialmente a combustão de combustíveis fósseis (D'Avignon et al., 2010).

Dada a limitada capacidade de absorção de CO₂ dos oceanos, a componente fotossintética do ciclo de carbono apresenta-se como a única etapa do ciclo capaz de dar resposta ao excesso de carbono atmosférico e repor, de forma natural, o equilíbrio do ciclo. Neste contexto, surge a necessidade de estudar com maior profundidade a capacidade de resposta que esta componente tem relativamente ao total de emissões de CO₂ consequentes da actividade humana (Voronin e Black, 2005).

Com o trabalho aqui apresentado pretendeu-se avaliar o potencial impacte da actividade urbana do concelho de Lisboa ao nível das alterações climáticas, determinando o balanço de CO₂ deste centro urbano e apresentar sugestões de mitigação. Para a concretização deste objectivo, procedeu-se à determinação das emissões de CO₂ no concelho de Lisboa e à quantificação do sequestro de CO₂ no concelho para o período de um ano.

O cálculo das emissões teve como base o consumo total de energia do concelho no ano de 2002 e a metodologia de cálculo sugerida pelo Pacto dos Autarcas. Esta metodologia foi definida com o objectivo de uma aplicação regional e tem como base a quantificação de emissões associadas aos consumos energéticos locais pela aplicação de factores de emissão específicos para cada fonte energética (COMO, 2010).

O cálculo do sequestro de carbono foi efectuado recorrendo a sistemas de informação geográfica para determinação e caracterização das áreas com potencial de sequestro de CO₂. Foram ainda utilizados factores de sequestro, obtidos através de estudos de produtividade líquida de ecossistemas similares aos encontrados no concelho, para a quantificação da capacidade média anual de sequestro de carbono dos espaços verdes da área urbana de Lisboa durante o período de estudo.

O trabalho realizado encontra-se apresentado nesta dissertação, estruturada em 4 capítulos: *Efeito de Estufa: Causas e Mitigação*, *Caso de Estudo: Concelho de Lisboa*, *Balanço de CO₂* e *Conclusões*.

No capítulo *Efeito de Estufa: Causas e Mitigação* são apresentados os principais conceitos teóricos tidos em conta aquando da realização deste trabalho. Aqui é descrito o fenómeno do efeito de estufa e apresentadas as suas causas, destacando-se os principais contributos dos sistemas urbanos para este fenómeno e as principais medidas políticas adoptadas com o intuito de mitigar o impacte da actividade humana ao nível das alterações climáticas.

No capítulo *Caso de Estudo* é caracterizado o concelho de Lisboa, considerando as temáticas relevantes para o estudo efectuado: características socioeconómicas, espaços verdes e áreas protegidas, caracterização energética, gestão de resíduos e qualidade do ar.

No *Balanço de CO₂* são apresentadas notas metodológicas, descritivas do processo de execução do trabalho efectuado, assim como os resultados obtidos ao longo da realização deste trabalho.

Por fim, em *Conclusões* faz-se uma análise global do trabalho efectuado, incluindo sugestões de mitigação e sugestões de trabalhos futuros.

2. Efeito de Estufa: Causas e Mitigação

No presente capítulo pretendeu-se clarificar os principais conceitos teóricos relevantes para execução deste estudo, abordando-se as seguintes temáticas principais: alterações climáticas, efeito de estufa, gases com efeito de estufa e estratégias políticas de mitigação de emissões de GEE. De modo a compreender melhor a origem do problema das alterações climáticas foram ainda apresentados o ciclo de carbono, dado que o CO₂ é o principal GEE, e as principais fontes antropogénicas de GEE, destacando-se as emissões típicas em centros urbanos.

2.1 Alterações Climáticas

A constatação de que o clima da Terra é sensível às concentrações atmosféricas de GEE tem mais de um século. Com a evolução do clima da Terra e os desenvolvimentos no domínio das ciências climáticas, foram aumentando as evidências da influência das acções antropogénicas sobre as alterações climáticas.

O sistema climático é um sistema complexo que envolve interacções entre a atmosfera, a litosfera, a criosfera, a hidrosfera e a biosfera e cuja evolução ao longo do tempo decorre sob a influência da sua própria dinâmica interna e de factores externos que afectam o clima. Estes factores incluem fenómenos naturais, como erupções vulcânicas e variações solares, e fenómenos antropogénicos, nomeadamente alterações induzidas pelo homem à composição atmosférica (aumento da concentração de gases com efeito de estufa, por exemplo) e à reflectividade da radiação solar (aumento do número de partículas atmosféricas ou alterações do albedo da superfície da Terra, por exemplo) (IPCC, 2007).

O clima, num sentido restrito, é usualmente definido como 'tempo meteorológico médio', sendo descrito em termos de média e variabilidade da temperatura, da precipitação e do vento ao longo de um período de tempo. Este período pode variar de

meses a milhões de anos, sendo 30 anos o período clássico de referência definido pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM) (IPCC, 2007).

A variação de temperatura atmosférica constitui um dos indicadores mais claros das alterações climáticas e do aquecimento global ocorridos nas últimas décadas. A existência de um longo histórico de temperatura atmosférica, põe em evidência a relação entre as variações da concentração de gases com efeito de estufa na atmosfera, nomeadamente o dióxido de carbono (CO_2), e as variações da temperatura média da Terra (Figura 2.1) (EEA, 2005; EEA, 2008).

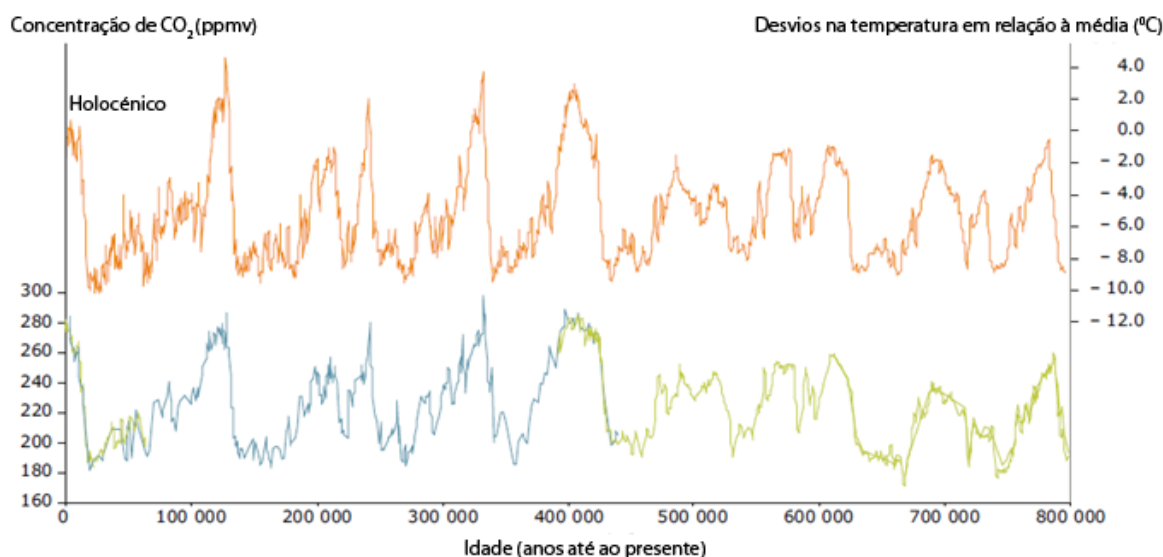


Figura 2.1: Variação da temperatura média e concentração de CO_2 na atmosfera ao longo dos últimos 800 000 anos na Antártida (adaptado de EEA (2008)).

Observações instrumentais efectuadas ao longo de 157 anos demonstraram que a temperatura tem apresentado uma tendência de crescimento a nível mundial (Figura 2.2). Considerando a média mundial, constatou-se que o aquecimento verificado nos últimos séculos ocorreu em duas fases: de 1910 a 1940 ($0,35^{\circ}\text{C}$), e mais fortemente a partir de 1970 até ao ano 2006 ($0,55^{\circ}\text{C}$). Ao longo dos últimos 25 anos verificou-se um aumento da taxa de aquecimento, com 11 dos 12 anos mais quentes da história a serem registados

nos últimos 12 anos e com 1998 e 2005 a apresentarem as temperaturas mais elevadas da série (IPCC, 2007).

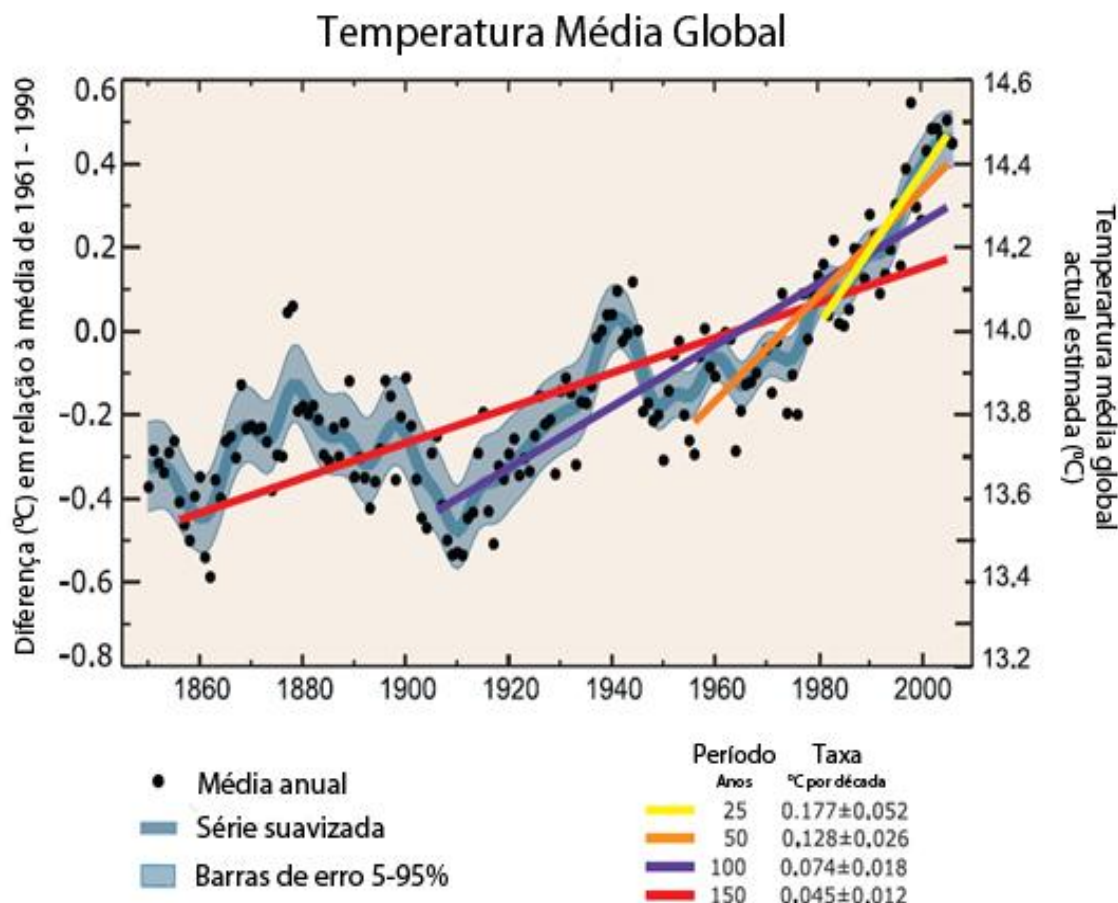


Figura 2.2: Temperatura média global anual observada e temperatura média global anual estimada, para o período 1855 - 2006, anomalias na temperatura em relação à média de 1961-1990 e tendências de crescimento lineares para os últimos 25, 50, 100 e 150 anos (IPCC, 2007).

2.2 Efeito de Estufa

Cerca de 30% da radiação solar que atinge o topo da atmosfera (1.365 W/m^2) é reflectida de volta para o espaço (Figura 2.3), quer devido às nuvens e a pequenas partículas presentes na atmosfera, conhecidas como "aerossóis", quer devido ao elevado albedo de áreas de cor clara da superfície da Terra, principalmente neve, gelo e desertos (IPCC, 2007).

A restante energia penetra na atmosfera e é diferencialmente absorvida. A fracção de radiação ultravioleta de pequeno comprimento de onda (inferior a $0,29 \mu\text{m}$) é parcialmente filtrada na estratosfera devido à presença de ozono, pelo que a radiação que atinge a superfície terrestre é predominantemente visível.

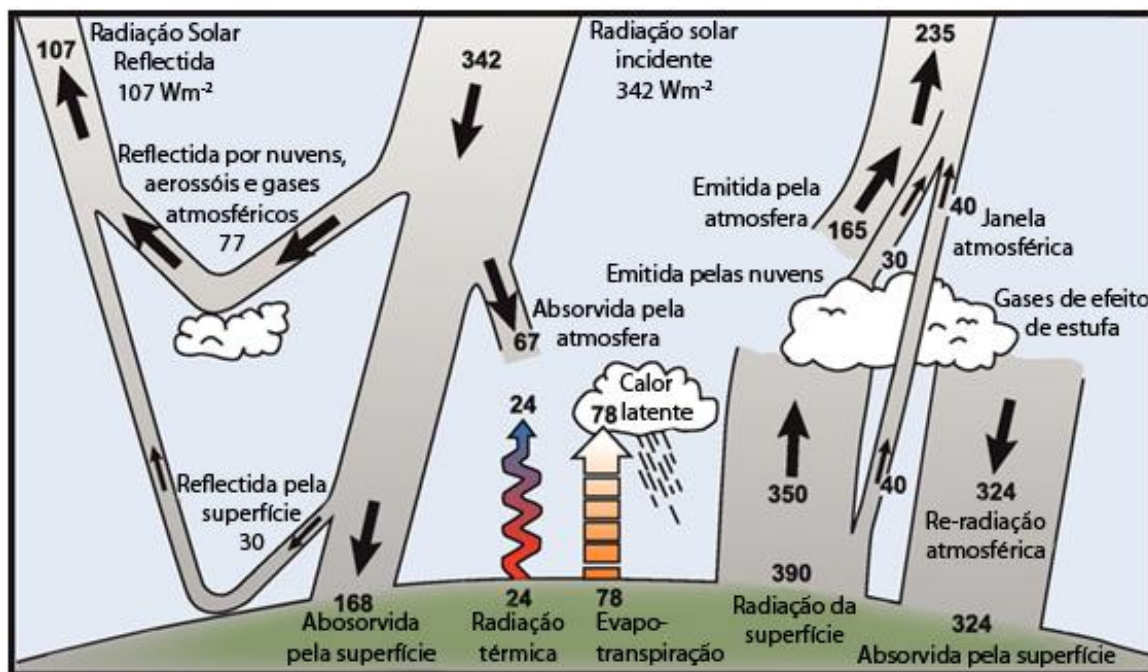


Figura 2.3: Estimativa do balanço radiativo do sistema atmosfera - Terra. Fonte: (IPCC, 2007).

A energia solar que atinge a superfície do globo é absorvida pelo solo, água e ar, podendo ser convertida em calor através do aumento de temperatura da superfície terrestre ou da evaporação/evapotranspiração, ou ainda convertida em energia mecânica, eléctrica ou química. Sendo a temperatura à superfície da Terra de 280 a 300K, esta emissão faz-se principalmente na forma de radiação térmica de grande comprimento de onda, ou seja, infravermelha. Ao atravessar a atmosfera, a radiação infravermelha é parcialmente absorvida pelos gases que a constituem, tais como vapor de água (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4), entre outros, com potencial de efeito de estufa significativo (IPCC, 2007).

O vapor de água e o CO_2 são os principais gases absorventes, sendo no entanto transparentes à radiação na gama de 8 a 13 μm , de acordo com o ilustrado na Figura 2.4. Apesar de outros poluentes atmosféricos absorverem também a radiação infravermelha emitida pela terra, parte da energia escapa-se da atmosfera terrestre através da “janela atmosférica” dos 8 a 13 μm .

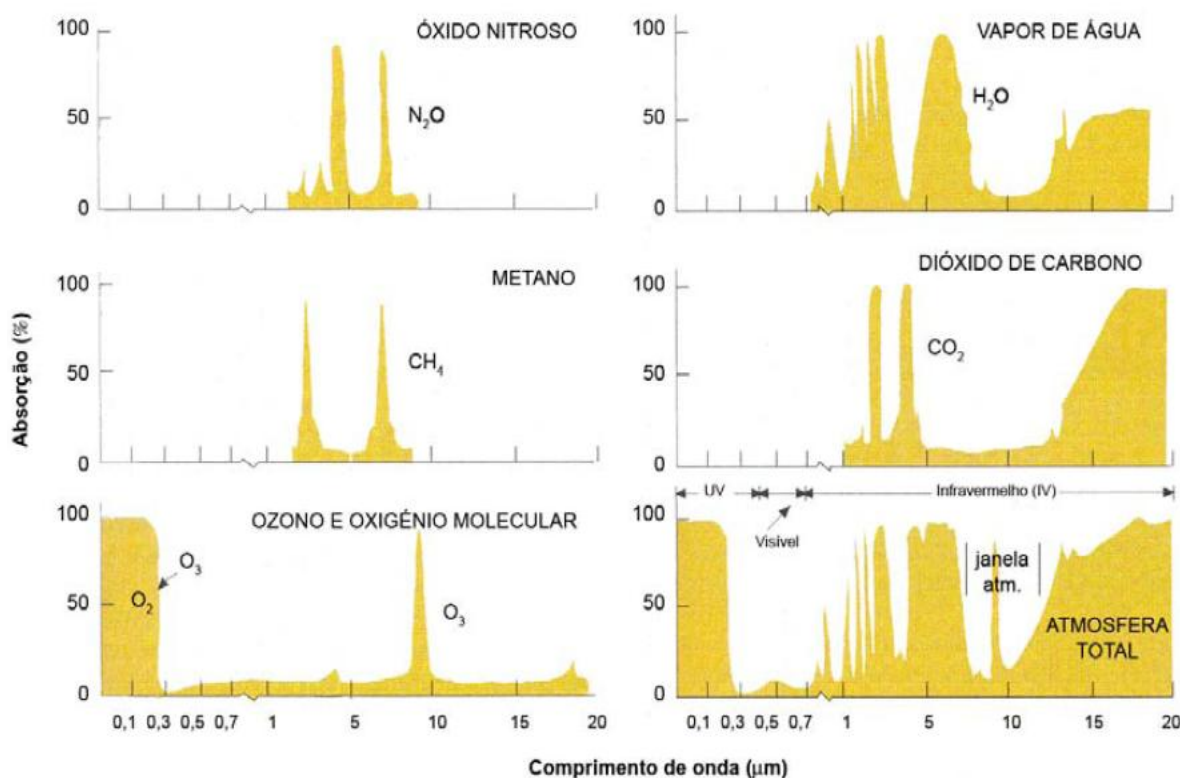


Figura 2.4: Percentagem de absorção de radiação por gases com efeito de estufa e pela atmosfera (Adaptado de Ahrens, 2003).

Deste balanço radiativo entre a radiação que atinge globo e a que é emitida de volta para o espaço, resulta um saldo positivo de energia que é responsável pela temperatura média superficial de 15°C (288 K). Se a Terra não possuísse atmosfera, a temperatura à superfície seria apenas cerca de -18° C (255 K). A atmosfera assume, assim, um papel determinante no balanço radiativo uma vez que possui a capacidade de filtrar a radiação solar e de absorver parte da radiação emitida pela superfície (Harrison, 1992).

2.3 Gases com Efeito de Estufa

Os gases com efeito de estufa caracterizam-se por deixarem passar com facilidade a radiação solar, de curtos comprimentos de onda, e absorverem intensamente a radiação emitida pela Terra, de maiores comprimentos de onda, o que resulta no aquecimento da atmosfera.

A maior parte dos GEE que contribuem para este fenómeno encontram-se presentes na atmosfera em resultado de processos naturais: vapor de água, dióxido de carbono, metano e óxido nitroso. As actividades antropogénicas emitem, para além destes, outros GEE, dos quais se destacam o dióxido de carbono, o metano, o óxido nitroso, os clorofluorcarbonetos (CFCs) e o ozono. As emissões destes gases, com excepção dos CFCs, e de outros gases reactivos como o dióxido de enxofre, os óxidos de azoto, o monóxido de carbono e hidrocarbonetos - que levam à formação de poluentes secundários, incluindo partículas de aerossóis e ozono troposférico - têm aumentado substancialmente devido a actividades humanas. Como resultado, os ciclos biogeoquímicos têm sido significativamente perturbados (IPCC, 2007).

O contributo dos vários gases para o efeito de estufa é variável, sendo fortemente dependente do tempo médio de permanência na atmosfera (tempo médio de vida). O tempo médio de vida de um GEE depende dos processos químicos em que participam, processos estes que são condicionados pela concentração dos diversos constituintes da atmosfera. De modo a avaliar o potencial real de aquecimento dos diferentes poluentes é utilizado o potencial efectivo para o aquecimento global (GWP - *Global Warming Potential*). Em termos físicos o GWP é definido como sendo o efeito de aquecimento de uma emissão instantânea de 1 kg desse gás relativamente a outro gás, nomeadamente o CO₂, e é calculado para um determinado horizonte temporal (IPCC, 2007).

Na tabela que se segue são apresentados os principais gases com efeito de estufa e respectivos parâmetros indicativos do seu potencial de efeito de estufa, tais como tempo médio de vida e potencial efectivo para o aquecimento global para um horizonte temporal de 100 anos (WGP₁₀₀).

Tabela 2.1: Principais gases com efeito de estufa e respectivos tempo de vida e potencial de aquecimento global para o horizonte temporal de 100 anos (Adaptado de IPCC, 2007)

GEE	Fórmula Química	Tempo médio de vida [anos]	GWP ₁₀₀
Dióxido de Carbono	CO ₂	Variável	1
Metano	CH ₄	12 ^(a)	25
Óxido Nitroso	N ₂ O	114	310
Clorofluorcarbonetos	CFCs	45 – 1 700 ^(b)	4 750 – 14 400 ^(b)
Hidroclorofluorcarbonetos	HCFCs	1,3 – 17,9 ^(b)	77 – 2 310 ^(b)
Hidrofluorcarbonetos	HFCs	1,4 – 270 ^(b)	124 – 9 810 ^(b)
Perfluorcarbonetos	PFCs	1 000 – 50 000 ^(b)	7 390 – 12 200 ^(b)
Hexafluoreto de enxofre	SF ₆	3 200	22 800

(a) Inclui efeitos indirectos de aumentos do ozono estratosférico e do vapor de água

(b) Intervalo de valores para os diferentes CFCs, HCFCs, HFCs e PFCs

O principal gás com efeito de estufa é o vapor de água, sendo responsável por cerca de dois terços do efeito de estufa natural. A importância do vapor de água como gás com efeito de estufa deve-se fundamentalmente à sua elevada concentração na atmosfera, na medida em que o potencial de aquecimento global do vapor de água é praticamente irrelevante. Apesar do contributo que o vapor de água apresenta no que respeita à absorção de radiação infravermelha, o seu GWP não é passível de ser calculado, e tabelado, devido à sua concentração na atmosfera depender principalmente da temperatura do ar. No entanto, como o vapor de água na atmosfera faz parte do ciclo hidrológico, a sua presença na atmosfera não tem origem directa em actividades humanas (Houghton, 2004; IPCC, 2007).

O dióxido de carbono corresponde ao gás com efeito de estufa que apresenta menor GWP, pondo em evidência o facto de serem as elevadas concentrações atmosféricas deste gás que lhe conferem o estatuto de principal GEE. Apesar do CO₂ poder ter origem em actividades naturais, o aumento dos níveis de dióxido de carbono actualmente verificados na atmosfera têm origem, fundamentalmente em acções humanas. Ao longo dos últimos

250 anos, o rácio da mistura atmosférica de CO₂ aumentou globalmente cerca de 100 ppm (36%) e em 10 anos, de 1995-2005, a concentração de CO₂ na atmosfera aumentou perto de 19 ppm, sendo esta a maior taxa de crescimento médio registada, com um valor de cerca de 1,4 ppm.ano⁻¹, para o período de 1960 a 2005. O aumento do CO₂ atmosférico global desde a revolução industrial deve-se principalmente às emissões de CO₂ provenientes da combustão de combustíveis fósseis e produção de cimento. Outras fontes incluem emissões devidas a alterações do uso dos solos, como a desflorestação e a queima de biomassa. Parte do CO₂ presente na atmosfera é absorvida por componentes da biosfera e da superfície oceânica, integrando o ciclo de carbono, sendo os solos e os oceanos os principais reservatórios deste GEE (IPCC, 2007).

O metano é o segundo gás atmosférico com maior impacto sobre as alterações climáticas, depois do CO₂, apesar de o CH₄ apresentar um maior GWP. Os níveis actuais de CH₄ atmosférico não têm precedentes desde os últimos 650 000 anos. Apesar deste cenário, as medições dos últimos 25 anos mostram que embora a concentração de CH₄ tenha aumentado cerca de 30% durante esse período, a sua taxa de crescimento tem vindo a diminuir substancialmente para mínimos de quase zero no final da década de 1990. As fontes deste gás com efeito de estufa são principalmente biogénicas. O metano é produzido quando as bactérias efectuem degradação da matéria orgânica na ausência de oxigénio. Estas bactérias desenvolvem-se em campos, aparelhos digestivos de ruminantes, lixeiras, aterros e áreas saturadas tais como pântanos pelo que as principais fontes deste gás incluem as zonas húmidas, o cultivo de arroz, a queima de biomassa e os ruminantes. O metano é também emitido por várias fontes industriais, como a mineração e distribuição de combustíveis fósseis. Os maiores sumidouros de metano são as reacções químicas que ocorrem na atmosfera, nomeadamente reacções com radicais hidroxilos. Contudo este processo é inibido pelo monóxido de carbono, um sub-produto das combustões (Houghton, 2004; IPCC, 2007).

O óxido nitroso corresponde ao mais abundante dos óxidos de azoto e apresenta também um elevado GWP. No entanto, a sua acção é afectada pela presença de metano devido à sobreposição de absorções. Em 1998 era estimada uma abundância na atmosfera

de 314 ppb de N_2O , valor que representa um aumento de 44 ppb desde a era pré-industrial, altura em que a sua concentração era de aproximadamente 270 ± 7 ppb. O N_2O é produzido naturalmente como resultado de reacções químicas que ocorrem nos oceanos e por acção da biota terrestre. As actividades antropogénicas como a combustão, a indústria química - nomeadamente a produção de nylon - e o uso de fertilizantes têm vindo a aumentar a concentração destes compostos na atmosfera. O processo de eliminação do óxido nitroso é a fotodissociação na estratosfera e reacção com átomos de oxigénio excitados electronicamente (Houghton, 2004).

Relativamente aos clorofluorcarbonetos, estes apresentam, de um modo geral, grande capacidade de absorção de radiação infravermelha (elevado valor de GWP), sendo muitíssimo mais nocivos como gases de estufa que o dióxido de carbono. Mesmo que presentes na atmosfera em pequenas concentrações, estes gases contribuem significativamente para o efeito de estufa. Os CFCs são produtos químicos sintéticos que foram largamente utilizados industrialmente como refrigerantes, propulsores de sprays e solventes, entre outros, pelo facto de praticamente não reagirem com outras substâncias. A baixa reactividade destes compostos confere-lhe no entanto um maior grau de perigosidade em termos ambientais, na medida em que na atmosfera são apenas degradados pela radiação UV e a uma taxa muito lenta. Deste modo, estes compostos têm tempos de vida muito longos. Como o seu uso aumentou rapidamente durante os anos 80, a sua concentração na atmosfera tem vindo a crescer, tendo já atingido uma concentração de 1 ppb (considerando os diversos CFCs). Os CFCs são ainda responsáveis pela redução dos teores de ozono na estratosfera, o que levou à assinatura do Protocolo de Montreal, em 1987, com o objectivo de proibir o uso industrial nas utilizações acima referidas. Contudo, a utilização dos CFCs foi substituída pelo uso de outros halocarbonetos, os hidroclorofluorcarbonetos (HCFCs) e os hidrofluorcarbonetos (HFCs), que apesar de não terem efeitos nocivos sobre a camada de ozono também apresentam uma elevada capacidade de absorção de radiações IV (Houghton, 2004; IPCC, 2007).

Existem ainda vários outros gases com potencial de efeito de estufa, como por exemplo, o hexafluoreto de enxofre (SF_6) e os perfluorcarbonetos (PFCs), também

considerados no Protocolo de Quioto. Estes gases são produzidos em alguns processos industriais e apesar de serem emitidos para atmosfera em quantidades muito reduzidas os seus tempos de vida na atmosfera são muito longos. Como tal, todas as emissões destes gases irão acumular-se na atmosfera, continuando a influenciar o clima durante milhares de anos.

Refere-se ainda o ozono troposférico, pela sua capacidade de absorção de radiação UV. A sua origem pode ser quer a estratosfera quer a acção química, podendo ser formado, sobretudo, a partir da acção do sol sobre óxidos de azoto (IPCC, 2007).

2.4 Ciclo do Carbono

As emissões antropogénicas resultantes da queima de combustíveis fósseis têm libertado carbono armazenado nestes produtos a uma taxa muito superior à velocidade a que estes combustíveis fósseis foram criados, perturbando o ciclo do carbono.

Considerado como um dos mais importantes ciclos da Terra, o ciclo do carbono consiste numa troca de carbono entre os quatro grupos que o integram, designadamente a atmosfera, os oceanos, os sedimentos e a biosfera terrestre. Os fluxos anuais deste elemento entre os diversos ecossistemas estão relacionados com agentes químicos, físicos, geológicos e biológicos. Uma análise destes fluxos permite determinar as entradas e as saídas de carbono entre cada grupo, resultando no balanço de carbono final. Uma análise mais aprofundada do balanço permite confirmar se cada um dos reservatórios constitui uma fonte ou sumidouro deste elemento (Bravo et al., 2008; Molin, 2010).

A Figura 2.5 apresenta um diagrama dos fluxos de carbono entre os vários reservatórios - a atmosfera, os oceanos, incluindo a biota do oceano, o solo e a biota terrestre. O diagrama mostra que os movimentos de carbono na forma de dióxido de carbono dentro e fora da atmosfera são elevados, cerca de um quinto do montante total de carbono na atmosfera entra e sai do ciclo a cada ano, parte com a biota terrestre e parte através de processos físicos e químicos que ocorrem em toda a superfície do oceano.

A terra e o oceano retêm muito mais carbono do que a atmosfera. Como tal, pequenas alterações nesses reservatórios podem ter um grande efeito sobre a concentração atmosférica, em que o lançamento de apenas 2% do carbono armazenado nos oceanos levaria ao dobro das emissões atmosféricas de dióxido de carbono (Houghton, 2004).

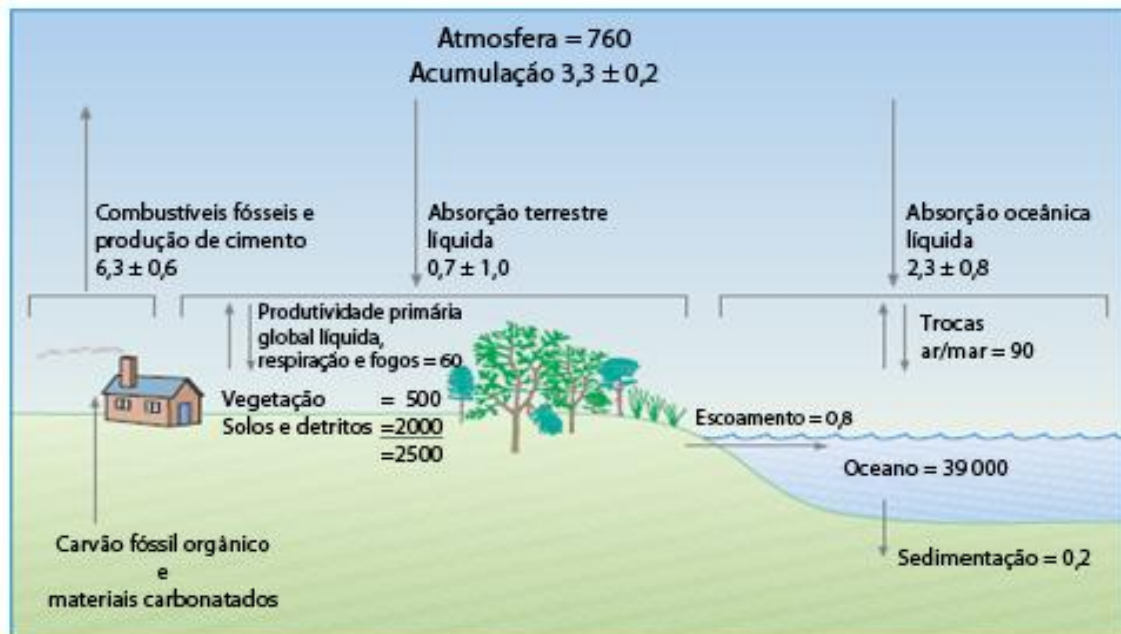


Figura 2.5: Ciclo global de carbono. Stocks aproximados de carbono nos reservatórios (em GT) e fluxos de carbono (em Gt.ano⁻¹) mais relevantes para a perturbação antropogénica. Os valores apresentados são referentes à média anual durante a década de 1989-1998 (Houghton, 2004).

Nos ecossistemas terrestres o CO₂ é absorvido ao longo do ciclo pelas folhas das plantas e árvores, sob a presença de luz, e transforma-se noutros compostos de carbono através da fotossíntese, libertando oxigénio. Os compostos de carbono resultantes da fotossíntese são integrados na constituição das plantas, que por sua vez são consumidas por animais. Através da respiração, os animais devolvem o dióxido de carbono à atmosfera. Usando o oxigénio disponível na atmosfera, o carbono consumido através da alimentação é transformado em dióxido de carbono e é expirado. As plantas mortas são degradadas por bactérias e outros organismos que libertam CO₂. Contudo, nem todo o carbono é devolvido à atmosfera, sendo parte acumulado em plantas e animais mortos que são posteriormente cobertos por sedimentos.

A capacidade de sequestro de carbono pela floresta é a quantidade de C que é fixado pela vegetação e que pode ser acumulado a longo prazo no ecossistema (biomassa perene, matéria orgânica do solo). A quantidade de C fixado pelas plantas através da fotossíntese é designada Produtividade Primária Bruta (PPB) do ecossistema. Descontando a respiração autotrófica das plantas, obtém-se a Produtividade Primária Líquida (PPL). Se subtrairmos a respiração dos organismos heterotróficos (Respiração Heterotrófica), que na floresta é representada essencialmente pelos microrganismos do solo, obtemos a Produtividade Líquida do Ecossistema (PLE), que representa o balanço anual de carbono do ecossistema (Correia et al., 2005).

O balanço anual de carbono de um ecossistema florestal é quase sempre positivo pois, descontando as perdas resultantes da respiração e mortalidade dos tecidos vegetais, o carbono é acumulado nos tecidos vegetais de longa duração e no solo (Correia et al., 2005).

Na biosfera, o carbono pode ser armazenado durante centenas de anos em árvores e até milhares de anos nos solos, tornando ambos muito interessantes e importantes reservas de carbono a longo prazo. Os combustíveis fósseis como o carvão, o petróleo e o gás natural representam o remanescente das plantas e animais mortos que absorveram o carbono há milhões de anos atrás. Quando são queimados, o carbono é libertado resultando no aumento do teor de CO₂ na atmosfera.

Devido ao longo tempo de vida do dióxido de carbono atmosférico, as emissões de origem antropogénica não são destruídas por acção química da atmosfera, mas redistribuídas entre os diversos reservatórios de carbono. O carbono armazenado nos ecossistemas terrestres é distribuído em três compartimentos: a biomassa de plantas vivas (tronco, galhos, folhas e raízes), detritos vegetais (galhos e cones, serapilheira, troncos de árvores, coberturas e logs) e solo (húmus de minerais orgânicos, superficiais e profundas do solo mineral) (Bravo et al., 2008; Houghton, 2004)

2.5 Gases e Efeito de Estufa em Centros Urbanos

Factores como a densidade urbana, a actividade económica, a mobilidade e os estilos de vida reflectem-se na procura de espaço e no fluxo de recursos. As cidades importam água, energia e materiais que são transformados em bens e serviços e que devolvem posteriormente ao ambiente sob a forma de emissões e resíduos. Com base nos dados disponíveis em várias cidades europeias, estima-se que, em média, uma cidade europeia com 1 milhão de habitantes exija diariamente 11 500 toneladas de combustíveis fósseis, 320 000 toneladas de água e 2.000 toneladas de alimentos. Consequentemente, também produz em média 300 000 toneladas de águas residuais, 25 000 toneladas de CO₂ e de 1600 toneladas de resíduos sólidos (EEA, 1995).

O impacto das cidades sobre o ambiente global depende de factores geofísicos (clima, o acesso aos recursos e estatuto de "cidade de entrada") e de factores técnicos (produção de energia, design urbano e gestão de resíduos). Dentro de uma tendência global as emissões de GGE variam também em função do número de habitantes, rendimento familiar e volume de trânsito privado (Kennedy et al., 2009).

O conceito central no estudo científico das cidades é o do metabolismo urbano, que pode ser interpretado principalmente em termos de fluxos de energia ou, de forma mais ampla, incluindo os fluxos urbanos de água, materiais e nutrientes. Através de estudos de metabolismo urbano é possível compreender fenómenos como a apropriação dos ecossistemas pelas cidades, a acumulação de materiais tóxicos nos edifícios urbanos, o histórico de crescimento do transporte de materiais ou as economias de escala para os sistemas de infra-estruturas urbanas. A questão fundamental para a ecologia urbana, no entanto, é a falta de dados publicados sobre o uso de energia global nas cidades. É possível encontrar informação disponível para alguns componentes como, por exemplo, para os transportes urbanos ou para a electricidade. Contudo, estudos realizados referentes a esta temática relatam a escassez de dados inerentes ao consumo urbano de energia em geral (Kennedy et al., 2009).

Kennedy et al. (2009), avaliaram o potencial de aquecimento global de dez cidades/áreas metropolitanas (Bangucoque, Barcelona, Cidade do Cabo, Denver, Genebra, Londres, Los Angeles, Nova Iorque, Praga e Toronto) de características distintas tendo como base sete componentes: electricidade, aquecimento e combustíveis industriais, processos industriais, transportes terrestres, aéreos e marítimos, e os resíduos. Neste estudo foi constatado que as emissões de GEE de uma cidade são fortemente dependentes sua localização geográfica. O clima, em particular os dias frios que exigem aquecimento (heating degree days - HDD), é actualmente um factor determinante da energia necessária para aquecer edifícios urbanos. Um outro estudo efectuado na cidade Copenhaga por Soegaard e Moller-Jensen (2003) evidencia também uma tendência para a variabilidade sazonal nas emissões de CO₂ em meios urbanos, fortemente impulsionada pelas necessidades de aquecimento durante o período de inverno. Estudos realizados em cidades dos E.U.A. mostraram ainda que o uso de energia eléctrica no sector residencial aumenta acentuadamente com a temperatura média de Julho (Kennedy et al., 2009; Soegaard e Moller-Jensen, 2003).

A localização do centro urbano determina ainda o estatuto da cidade como porta de entrada (gateway), justificando assim as emissões decorrentes de transportes aéreos e aquáticos.

Relativamente às emissões de GEE devidas o consumo de electricidade, o método de produção de energia surge como o factor mais determinante para a intensidade de emissões, que por sua vez também pode ser influenciado pela localização geográfica da região. O acesso à energia hidroeléctrica, como no caso de Genebra, reduz substancialmente a intensidade das emissões provenientes dessa cidade (54 tCO₂eq/GWh). Por outro lado, 92% da electricidade da África do Sul é gerada a partir da combustão de carvão, levando a que a Cidade do Cabo apresente uma intensidade de emissões muito superior (969 tCO₂eq/GWh). Várias cidades, como Barcelona, Nova Iorque e Toronto, também utilizam electricidade de origem nuclear produzida local ou regionalmente, diminuindo a suas emissões potenciais (Kennedy et al., 2009).

A forma urbana também tem uma influência relevante sobre o metabolismo urbano. O consumo de energia no sector transportes e as respectivas emissões estão inversamente relacionados com a densidade da população urbana. Contudo, a densidade da uma cidade pode, por si só ser um resultado de outros factores, tais como a idade da cidade ou simplesmente a disponibilidade de terra sobre a qual a crescer. Dado que as emissões de GEE associadas aos transportes terrestres são altamente dependentes do uso de combustíveis fósseis, as emissões de GEE são também variáveis com o custo dos combustíveis, com a eficiência dos veículos automóveis e com o uso de transportes individuais. Apesar da actual tendência de introdução de tecnologias de redução de emissões poluentes e aumento da eficiência energética no sector dos transportes, verifica-se que a obtenção de resultados é relativamente lenta devido ao período médio de vida dos veículos, estimado em pelo menos 10 anos e, em alguns países, mais de 20 anos. Soegaard e Moller-Jensen (2003) mostram ainda que o nível de emissões associadas ao tráfego na cidade é quase constante ao longo do ano, cuja única excepção corresponde aos meses de férias de Verão, nomeadamente os meses de Julho e (início) de Agosto. Durante este período de verão, observaram-se quebras no volume de tráfego rodoviário e respectivas emissões (EEA, 1995; Kennedy et al., 2009; Soegaard e Moller-Jensen, 2003).

Outro factor fundamental para as emissões urbanas de GEE é a tecnologia existente. As emissões resultantes da eliminação de resíduos podem apresentar menor impacto sobre o efeito de estufa, dependendo da tecnologia utilizada no processo de gestão de resíduos. Do grupo de cidades estudadas por Kennedy et al. (2009), Banguécoque e a Cidade do Cabo destacam-se por não possuírem tecnologia de captura de metano. Consequentemente, apresentam emissões de resíduos superiores às das restantes 8 cidades. Banguécoque e a Cidade do Cabo emitem cerca de 1,23 tCO₂eq/hab e 1,78 tCO₂eq/hab, respectivamente enquanto as restantes cidades, apresentaram valores entre 0,11 e 0,59 tCO₂eq/hab. Dado que a localização das cidades é fixa e que o aumento da densidade populacional pode demorar anos, a tecnologia pode desempenhar um papel importante na redução as emissões de GEE das cidades (Kennedy et al., 2009).

Para além dos factores apresentados, salienta-se também a relevância dos factores económicos. O rendimento familiar influencia fortemente a utilização de combustíveis industriais e para aquecimento. Um rendimento mais alto pode-se traduzir em maiores dimensões das áreas de habitação ou num limite de temperatura de aquecimento do ar ambiente superior. O rendimento familiar também está intimamente ligado ao produto interno bruto (PIB) regional. Consequentemente, o aumento da procura de combustíveis para aquecimento e de uso industrial e o aumento do rendimento podem também reflectir-se na actividade do sector comercial. Mais amplamente porém, as emissões de gases com efeito de estufa provenientes de combustíveis da aviação e navais estão também fortemente associados à actividade económica. As emissões libertadas pela queima de combustíveis de aviões e navios são, em certa medida, representativas do estatuto de uma cidade como centro global de serviços ou da sua participação na rede global de comércio (Kennedy et al., 2009).

De acordo com Kennedy et al. (2009), as emissões totais associadas ao consumo de energia final nas dez cidades estudadas varia entre 4,2 e 21,5 tCO₂eq/hab. Com elevada densidade populacional, baixas necessidades de aquecimento e com electricidade relativamente limpa, Barcelona apresenta as mais baixas emissões de GGE *per capita* (4,2 tCO₂eq/hab), em oposição a Denver cujas emissões correspondem ao valor mais elevado do grupo estudado (21,5 tCO₂eq/hab). Com valores de emissões também elevados, seguem-se Los Angeles e Toronto com valores de emissões de 13,0 tCO₂eq/hab e 11,6 tCO₂eq/hab. À excepção de Genebra, com emissões de 7,8 tCO₂eq/hab, as restantes cidades apresentam emissões de cerca de 10 tCO₂eq/hab (Kennedy et al., 2009).

Em termos de emissões totais de CO₂ Soegaard e Moller-Jensen (2003) determinou que no verão, na cidade de Copenhaga, o tráfego rodoviário responde por 51% das emissões totais de CO₂, enquanto a contribuição deste sector no inverno declina para 39% do total de emissões, devido ao aumento do aquecimento local (Soegaard e Moller-Jensen, 2003).

De um modo geral, os inventários de emissões urbanas efectuados não consideram as emissões a montante do uso final de energia, designadamente as emissões

associadas à extracção, processamento e transporte de combustíveis fósseis. Tipicamente, as emissões de combustíveis a montante acrescem entre 7% a 24% ao total de emissões associadas à utilização final (Kennedy et al., 2009).

2.6 Mitigação de GEE: Enquadramento Político

O reconhecimento da existência do fenómeno de alterações climáticas e a seriedade do problema das emissões antropogénicas de GEE marcou a Primeira Conferência do Clima, em 1979. A declaração final dessa conferência recomendava a previsão e a prevenção de “potenciais impactes das actividades humanas no Clima, que pudessem ser adversas ao bem-estar da Humanidade” (Borrego et al., 2009).

Em 1988 a Organização das Nações Unidas (ONU) apresentou o Protocolo de Montreal que apelava à eliminação gradual dos CFCs responsáveis pelo buraco do ozono na antárctica. Este protocolo surgiu após uma avaliação dos dados subjacentes à destruição do ozono. A concordância da comunidade científica mundial com os resultados da avaliação efectuada permitiu que esta servisse de base para uma acção a nível global (Henson, 2009).

No decurso deste êxito da ONU foi criado o Painel Internacional para as Alterações Climáticas (IPCC) pela Organização Meteorológica Mundial e pelo Programa das Nações Unidas para o Ambiente, com o objectivo de fornecer informações científicas, técnicas e socioeconómicas relativas ao fenómeno de alterações climáticas. As conclusões do IPCC têm sido apresentadas em inúmeros artigos e citadas em milhares de relatórios, constituindo uma fonte de referência (Henson, 2009).

A primeira avaliação do IPCC, publicada em 1987, sublinhou a gravidade da ameaça das alterações climáticas levando os líderes mundiais a organizar a Conferência das Nações Unidas do Ambiente e Desenvolvimento realizada no Rio de Janeiro em 1992. Nesta cimeira foi assinada por 166 países a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (UNFCCC). Com a aplicação da Convenção, os países signatários

industrializados e as economias em transição comprometeram-se a estabilizar as suas emissões de GEE nos níveis de 1990, até ao ano 2000. Pouco tempo depois, constatou-se a necessidade de tornar este compromisso vinculativo. Assim, de modo a tornar operacional e dar eficácia jurídica ao objectivo da Convenção Quadro foi aprovado, em 1997, o protocolo de Quioto (PQ). Este protocolo é um tratado internacional que estabelece compromissos quantificados para cada um dos países ou organizações signatárias de limitação ou redução das emissões dos seis principais GEE: CO₂, CH₄, N₂O, HCFs, PFCs e SF₆. Ao ratificarem o PQ os países industrializados signatários assumem como meta a redução das emissões equivalentes de GEE em 5,2% até ao período de 2008-2012, comparativamente às taxas de 1990, até ao ano de 2012. Esta meta de redução corresponde a uma redução agregada que se traduz, no entanto, em reduções ou aumentos individuais, diferenciados para cada país (Borrego et al., 2009; Henson, 2009; Sousa et al., 2008; United Nations, 1997).

A redução conjunta, prevista no Artigo 4º do protocolo de Quioto, estabelecido quase exclusivamente para a UE, cria uma diferenciação interna (“burden sharing”), permitindo que alguns Estados Membros possam aumentar as suas emissões à custa do esforço de redução ou estabilização dos restantes. Assim, a União Europeia tem como meta uma redução conjunta de 8% enquanto Portugal, de acordo com a diferenciação interna, pode aumentar as suas emissões equivalentes de CO₂ em 27% (Borrego et al., 2009; United Nations, 1997).

Os esforços mais recentes da UE têm decorrido no sentido de encontrar um novo acordo que dê continuidade ao protocolo de Quioto e que constitua um compromisso mais ambicioso e abrangente. Assim, estabeleceu-se a estratégia “20-20-20 em 2020”, com vista a limitar o aumento do aquecimento global a 2°C. Os objectivos desta meta consistem em reduzir pelo menos 20% das emissões de CO₂ abaixo dos níveis de 1990, estabelecer um objectivo vinculativo de 20% para a utilização de fontes de energia renováveis e aumentar a eficiência energética em 20% (Borrego et al., 2009).

Na medida em que as autoridades locais desempenham um papel fundamental no alcance dos objectivos energéticos e climáticos europeus, foi criado o Pacto dos Autarcas

(COM - Covenant of Mayors), uma iniciativa da Comissão Europeia pela qual vilas, cidades e regiões se comprometem voluntariamente a reduzir as suas emissões de CO₂ em mais de 20% até 2020 através de um aumento da eficiência energética e de uma produção e utilização mais limpa da energia.

O Pacto dos Autarcas visa a implementação de um pacote de acções para as energias renováveis ao nível dos municípios aderentes. Este pacto ainda estabelece às autarquias o compromisso de aplicação de um Plano de Acção da Energia Sustentável (SEAP - Sustainable Energy Action Plan), que visa a promoção do uso de energia sustentável nas áreas de actividade que são da competência das autarquias e que apresenta medidas concretas de redução de CO₂ e das emissões no ano seguinte à adesão. A elaboração do SEAP tem como pré-requisito a elaboração de um inventário de referência das emissões (BEI - Baseline Emission Inventory), que visa proporcionar o conhecimento da natureza das entidades emissoras de CO₂ no território do município, e assim ajudar na selecção das acções apropriada (COMO, 2010).

A nível nacional, Portugal é signatário da Convenção Quadro e do Protocolo de Quioto que foram transpostos para a legislação nacional pelos DL 20/93 e DL 7/2002, respectivamente. Em 29 de Abril de 1998, assinou o Protocolo de Quioto, que ratificou quatro anos depois, através do Decreto n.º 7/2002 de 25 de Março (Borrego et al., 2009; Sousa et al., 2008).

Decorrente destes compromissos internacionais foi estabelecida, através da Resolução do Conselho de Ministros n.º72/98, de 29 de Junho, a Comissão para as Alterações Climáticas (CAC) composta por representantes dos vários ministérios. Os trabalhos coordenados pela CAC conduziram à elaboração do Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), cuja primeira versão foi posta a discussão pública em Dezembro de 2001. O PNAC 2001 constituiu assim o primeiro programa nacional desenvolvido com o objectivo específico de controlar e reduzir as emissões de GEE, de modo a respeitar os compromissos de Portugal no âmbito do Protocolo de Quioto e da partilha de responsabilidades no seio da UE. Desde essa altura o PNAC tem sofrido alterações no sentido de incorporar medidas adicionais para a mitigação de GEE, visando

impedir que seja ultrapassada a meta de crescimento de 27%, tarefa que se tem revelado difícil face à tendência verificada nas emissões nas últimas duas décadas. A mais marcante das sucessivas alterações ao PNAC tem a ver com o sector energético, no qual se assume o compromisso de que 45% da energia bruta consumida em Portugal em 2010 seja assegurada exclusivamente por fontes de energia renováveis (Borrego et al., 2009).

3. Caso de Estudo: Concelho de Lisboa

Grande parte dos gases com efeito de estufa emitidos para a atmosfera tem origem em actividades antropogénicas, sendo o volume e a composição das emissões de GEE numa dada região dependentes de factores como a estrutura económica, o nível da actividade económica, a população, a densidade e as características dos edifícios, a utilização e o nível de desenvolvimento dos meios transporte, o comportamento dos cidadãos, o clima, entre outros. Assim, uma análise socioeconómica e da utilização de recursos no concelho de Lisboa constitui-se como fundamental para a determinação do balanço de emissões de CO₂.

No capítulo que se segue foi efectuada uma caracterização socioeconómica do concelho de Lisboa, assim como uma breve análise dos principais padrões de mobilidade. Procedeu-se ainda a uma caracterização do concelho ao nível da procura energética, de espaços verdes e áreas protegidas, dos sistemas de gestão de resíduos urbanos e de emissões de poluentes atmosféricos.

3.1 Caracterização Socioeconómica e Mobilidade

O concelho de Lisboa é constituído por 53 freguesias e localiza-se no litoral centro do país (Figura 3.1), ocupando uma área de 84,7 km² (INE, 2008). Está limitado a este e sul pela margem direita do Rio Tejo, estendendo-se ao longo do seu estuário por alguns quilómetros. A norte confina com os concelhos de Loures e Odivelas, e a oeste com os concelhos de Amadora e Oeiras. O concelho está ligado à margem sul pela Ponte 25 de Abril e pela Ponte Vasco da Gama.

A sua localização geográfica confere a Lisboa um clima mediterrânico, com verões quentes e secos e invernos amenos, em que o maior volume de precipitação ocorre entre Outubro e Abril (Alcoforado et al., 2009).

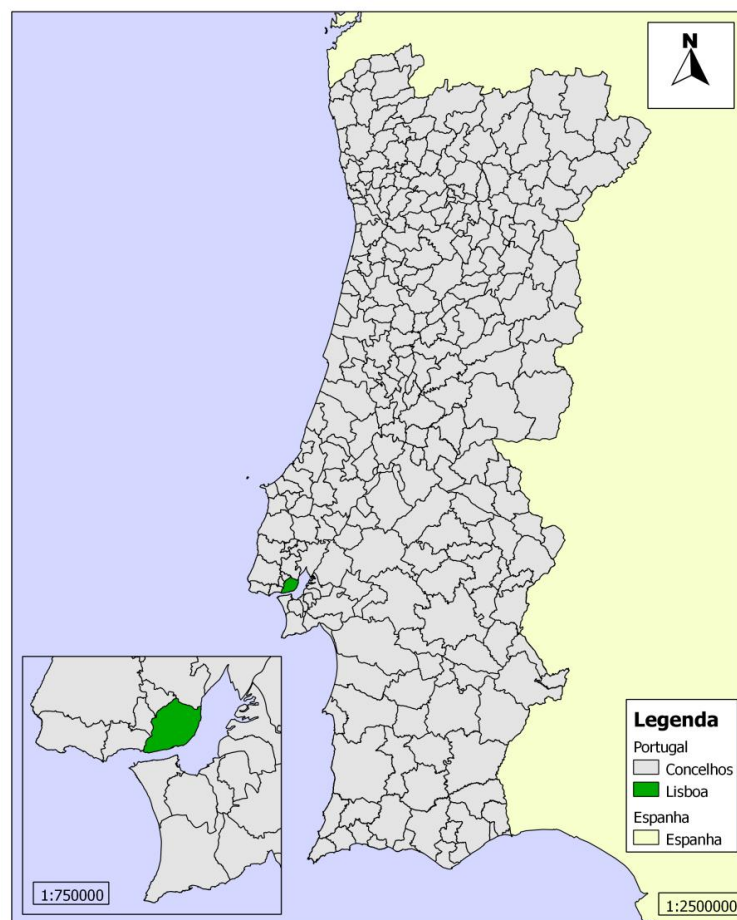


Figura 3.1: Localização do concelho de Lisboa.

É no concelho de Lisboa que se insere a cidade de Lisboa, a maior cidade portuguesa e o centro cultural, administrativo, comercial e industrial do país. Como grande centro urbano que é, o concelho de Lisboa apresenta uma densidade populacional elevada, de 5 778 hab.km⁻², muito superior à densidade populacional média de Portugal continental, de 113,9 hab.km⁻² (dados de 2008). Contudo, analogamente ao verificado em outros grandes centros urbanos, nas últimas décadas tem-se verificado uma perda continuada da população residente no concelho, existindo, em 2008, cerca 489 562 habitantes, valor inferior aos 564 657 habitantes de Lisboa no ano de 2001. Esta migração caracteriza-se por uma deslocação da população para os concelhos periféricos, motivada fundamentalmente pelos menores custos de habitação. Paralelamente ao decréscimo populacional, verifica-se também uma tendência para o envelhecimento da população, com os habitantes com mais de 65 anos a representar,

no ano de 2008, cerca de 24% da população total e a população economicamente activa a representar menos de metade da população residente (48%) (CML, 2005a, CML, 2005b; INE, 2008).

O concelho de Lisboa possui um parque edificado recenseado constituído por cerca de 56 mil edifícios residenciais, sendo que aproximadamente 77% têm exclusivamente função residencial. A percentagem de edifícios com estrutura de betão é apenas de 37,8%, indicando tratar-se de um parque habitacional relativamente antigo, maioritariamente construído antes da década de 50 (CML, 2005a).

Em 1999/2000 tinham emprego no concelho de Lisboa cerca de 490 mil pessoas, tendo-se verificado, na década de 90, uma diminuição generalizada do total de emprego no sector privado existente no concelho de cerca de 5%. O total de pessoas a dependerem de Lisboa por razões de emprego ou estudo tem vindo a diminuir, sendo esta diminuição da ordem dos 10%, de 1991 para 2001 (CML, 2005b).

Atendendo aos dados dos Censos de 1991 e de 2001, verifica-se que a diminuição do número de residentes em Lisboa ronda os 28,3% (passando de 336 mil em 1991 para 241 mil pessoas em 2001). Este decréscimo resulta principalmente da diminuição da população residente em Lisboa, a trabalhar ou a estudar. Por sua vez, mantém-se a capacidade de atracção de pessoas provenientes do exterior, verificando-se inclusive um acréscimo de 8% no número de pessoas não residentes em Lisboa, mas que aí trabalham ou estudam (339 mil pessoas, em 1991 e 364 mil pessoas, em 2001) (CML, 2005b).

No concelho de Lisboa os sectores de actividade primário e secundário apresentam pouca representatividade relativamente ao sector terciário, que tem uma forte implantação. Sendo a capital administrativa do país, a cidade de Lisboa reúne um conjunto alargado de serviços ligados à administração central. Mais de metade do emprego na Administração Pública está concentrado no concelho, empregando uma percentagem significativa da população activa (CML, 2005b).

A nível da mobilidade, estima-se que a população residente no concelho de Lisboa realize, no total, cerca de 1,1 milhões de viagens por dia, das quais 22% são realizadas a pé,

32% em transporte individual e 44% em transporte colectivo. Os motivos obrigatórios, nomeadamente trabalho e estudo, são responsáveis por cerca de 21% das viagens, verificando-se que as viagens para compras/lazer e resolução de assuntos pessoais representam 25% do total das viagens dos residentes no concelho (CML, 2005b).

Em média, os residentes móveis do concelho de Lisboa realizaram cerca de 2,3 viagens diárias, sendo que as zonas com maiores índices de mobilidade correspondem às zonas com concentração de população com rendimentos mais elevados e/ou onde a população em idade da reforma tem um peso menos expressivo. Realça-se ainda o facto de o concelho ter vindo a captar como novos residentes sobretudo o segmento de rendimento médio a médio-alto, um segmento “fortemente adepto” do transporte individual mesmo nas deslocações de curta distância (CML, 2005b).

Observa-se ainda que a taxa de motorização no concelho tem evoluído de forma crescente, de 232,5 (em 1993) para 281,8 veículos por 1.000 habitantes, em 2003.

Diariamente, a população da área metropolitana de Lisboa (AML) não residente em Lisboa realiza cerca 1,2 milhões de viagens com pelo menos um extremo de viagem no concelho de Lisboa, das quais apenas 4% são internas à cidade de Lisboa. Em média, a população não residente no concelho de Lisboa e que aí faz viagens realiza cerca de 2,10 viagens com pelo menos um extremo no concelho. Os motivos obrigatórios são responsáveis por metade do total das viagens. As compras/lazer (14%) e os assuntos pessoais (18%) são responsáveis por cerca de um terço das viagens. O modo de transporte mais utilizado pela população não residente ainda é o transporte colectivo (TC), utilizado em 53% do total de viagens terminadas em Lisboa, ainda que a tendência seja no sentido da diminuição da sua importância. O transporte individual (TI) é utilizado em cerca de 39% das viagens, enquanto a utilização combinada do TI e do TC é a opção utilizada em 8% das viagens. Por sua vez, o modo a pé quase não tem expressão (CML, 2005b).

Estima-se que diariamente, no somatório dos principais acessos ao concelho de Lisboa, circulem cerca de 826.000 veículos, com um total de veículos que entram no concelho de Lisboa de 412.000. Dos 412.000 veículos que entram diariamente em Lisboa, só 56% (cerca

de 231 mil veículos), terminam as suas viagens no concelho, correspondendo os restantes 181.000 a tráfego de atravessamento (CML, 2005b).

3.2 Espaços Verdes e Áreas Protegidas

O concelho de Lisboa compreende cerca 2700 ha de espaços verdes, cuja diversidade se manifesta quer ao nível das espécies vegetais que encerram, quer ao nível da tipologia dos espaços. Neste concelho podem ser encontrados jardins, matas, parques, quintas, hortas, tapadas, jardins botânicos e árvores de alinhamento (DMAU, s.d.).

Na Figura 3.2 apresentam-se os espaços verdes Lisboa, de acordo com a informação disponibilizada pelo Departamento de Ambiente Espaços Verdes da Câmara Municipal de Lisboa.

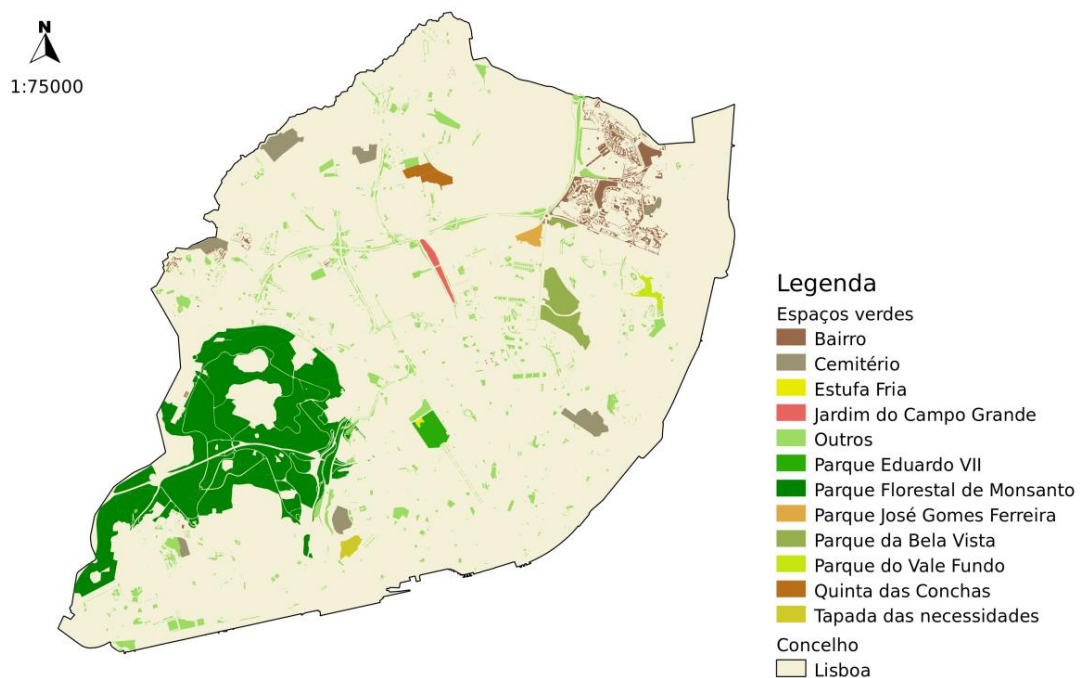


Figura 3.2: Espaços verdes e jardins do concelho de Lisboa (2010).

3.2.1 Espaços verdes

As matas e parques, as tapadas e as quintas resultam da ocupação do espaço no passado e que agora estão inseridos na área onde cresceu a cidade. Muitas destas áreas foram aproveitadas ou reconvertidas em viveiros municipais ou para locais de uso público, constituindo um aproveitamento dos espaços seminaturais preexistentes, podendo neles ser observadas muitas espécies da flora natural da região. São exemplos disso a Mata de Madre de Deus, o Parque do Monteiro-Mor, a Tapada das Necessidades, entre outros (DMAU, s.d.).

Um pouco por todo o concelho podem encontrar-se diversos jardins e parques públicos, com características diferentes, uma vez que foram áreas criadas propositadamente pelo Homem. Têm normalmente um elevado número de espécies vegetais, muitas delas exóticas, destacando-se o Jardim do Campo Grande, o Jardim do Castelo de S. Jorge, o Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian, o Jardim do Torel, o Parque Eduardo VII, o Parque Urbano dos Moinhos de Santana, o Parque Recreativo do Alto da Serafina, os Jardins Garcia da Horta, o Jardim da Estrela e o Jardim do Príncipe Real (DMAU, s.d.).

3.2.2 Parque Florestal de Monsanto

Situado em pleno coração da cidade, o Parque Florestal de Monsanto possui cerca de 900ha de vastas áreas de mata diversificada, sendo uma verdadeira mancha verde de grande interesse e variedade vegetal. Um pouco por todo o Parque, é possível observar espécies arbóreas, como pinheiro-manso, eucalipto, ulmeiro, várias espécies de carvalhos, e arbustivas, como o medronheiro ou a Aroeira, entre muitos outros (DMAU, s.d.).

No contexto da biodiversidade vegetal do parque destaca-se ainda o “Espaço Biodiversidade”, uma área integrada no Parque com 16 ha onde se conserva um dos

mais importantes núcleos florestais de todo o parque. Esta área apresenta um grande significado ecológico por albergar um bosque de espécies nativas (que se prolonga além da área vedada), que inclui sobreiros, azinheiras, alguns carvalhos-cerquinhos, pinheiros-mansos, adernos, medroneiros, folhados, madressilva, entre muitas outras (CML, 2009).

3.2.3 Estuário do Tejo

O concelho de Lisboa caracteriza-se ainda por ser envolvida a sul e a este pelo estuário do rio Tejo, que se espraia por 320km² de superfície de água. O estuário constitui o processo natural de maior influência na qualidade do ar das cidades que o rodeiam. Com um caudal médio de 400 m³.s⁻¹ de água doce, uma área exposta entre marés de 130 km², uma altura média das marés de 2,2 m, o Tejo surge como um elemento excepcional de redução dos níveis de CO₂ do concelho de Lisboa. Pela sua extensão e pelo facto de estar sujeito a um regime de marés que descobre 130 km² de sapal, o estuário do Tejo representa um reservatório que armazena carbono na forma de algas. Estudos demonstram que a fixação anual de carbono por algas intertidais no estuário excede 13 500 t.ano⁻¹ (Alvera-Azcárate et al., 2002).

3.3 Caracterização Energética

A Matriz Energética de Lisboa (Tabela 3.1) é disponibilizada pela Lisboa E-Nova – Agência Municipal de Energia-Ambiente de Lisboa e permite conhecer alguns dos mais importantes fluxos quantificáveis gerados pela dinâmica do concelho, nomeadamente, os fluxos de energia e as emissões de GEE a eles associadas (Lisboa E-Nova, 2008).

Tipologias de utilização			Formas de Energia - Primária (tep)								
			Eleticidade (EP)	Gás Auto	Gás óleo	Gásolina	Gás Natural	GPL	Fuel óleo	Outros	TOTAL
Edifícios	Serviços	Hotelaria/Restauração	69020	0	0	0	10750	258	172	0	80200
		Banca e Seguros	69600	0	0	0	1634	0	0	9	71243
		Administração Pública	56100	0	0	0	1720	172	86	172	57250
		Saúde	26390	0	0	0	6450	86	1204	0	34130
		Educação	35670	0	0	0	1978	86	0	9	37743
		Outros	276660	0	0	0	15050	10062	8600	5590	315962
	Sub-total parcial (serviços)		532440	0	0	0	37582	10664	10061,92	5779	596527
	Residencial	Aquecimento de água	8120	0	0	0	50138	0	0	0	58258
		Frio doméstico	58290	0	0	0	0	0	0	0	58290
		Aquecimento ambiente	44370	0	0	0	6364	0	0	0	50734
		Preparação de refeições	12470	0	0	0	26488	0	0	0	38958
		Iluminação	31610	0	0	0	0	0	0	0	31610
		Lavagem mecânica	18850	0	0	0	0	0	0	0	18850
		Outros	27840	0	0	0	0	0	0	0	27840
		Sub-total parcial (residencial)	201550	0	0	0	82989	0	0	0	284539
	Sub-total (edifícios)		733990	0	0	0	131235	0	10061,92	5779	881066
Transportes	Rodoviário	0	2060	400295	263322	0	0	0	0	665677	
	Ferroviário	34220	0	0	0	0	0	0	0	34220	
	Fluvial	0	0	2580	0	0	0	0	0	2580	
	Sub-total (transportes)	34220	2060	402875	263322	0	0	0	0	702477	
Indústria		43210	0	0	0	2408	91417	2064	344	139443	
Outros		21170	0	0	0	0	0	602	860	22632	
TOTAL		832590	2060	402875	263322	225060	0	12728	6983	1745619	

Tabela 3.1: Matriz energética do concelho de Lisboa para o ano 2002 (Lisboa E-Nova, 2008)

A Matriz Energética apresenta a desagregação dos consumos de energia pelos diferentes sectores de actividade, nomeadamente indústria, transportes, sector residencial e serviços. A matriz inclui ainda uma desagregação ao nível dos sectores serviços, residência e transportes permitindo observar o peso das diversas actividades no total dos consumos.

Relativamente ao sector industrial, este não foi sujeito a maior detalhe dado que os consumos de energia deste sector são, em Lisboa, pouco significativos face aos consumos de outros sectores e devido a este sector ter já beneficiado de uma optimização dos seus processos o que reduz drasticamente o potencial de intervenção da Lisboa E-Nova (Lisboa E-Nova, 2005).

Salienta-se ainda o facto de a matriz energética de Lisboa ser referente ao ano de 2002 apesar de ter sido sujeita a actualização no ano 2008 (Lisboa E-Nova, 2008).

Com base nos resultados obtidos pela realização da matriz energética de Lisboa,

constatou-se que, em 2002, o consumo total de energia primária no concelho em questão correspondeu a 14.785 kWh, representando cerca de 6% do consumo total de energia primária em Portugal e 32% do consumo de energia primária do distrito de Lisboa. Para o mesmo ano, o consumo anual *per capita* de energia primária correspondeu a 27 MWh/hab.ano⁻¹, valor ligeiramente superior à média de Portugal Continental (cerca de 24 MWh/hab.ano⁻¹, em 2002) (Lisboa E-Nova, 2008).

De modo a facilitar a interpretação da estrutura dos consumos energéticos por vector energético e por sector de actividade executaram-se os gráficos abaixo apresentados (Figura 3.3 e Figura 3.4), tendo como base a informação disponível na matriz energética.

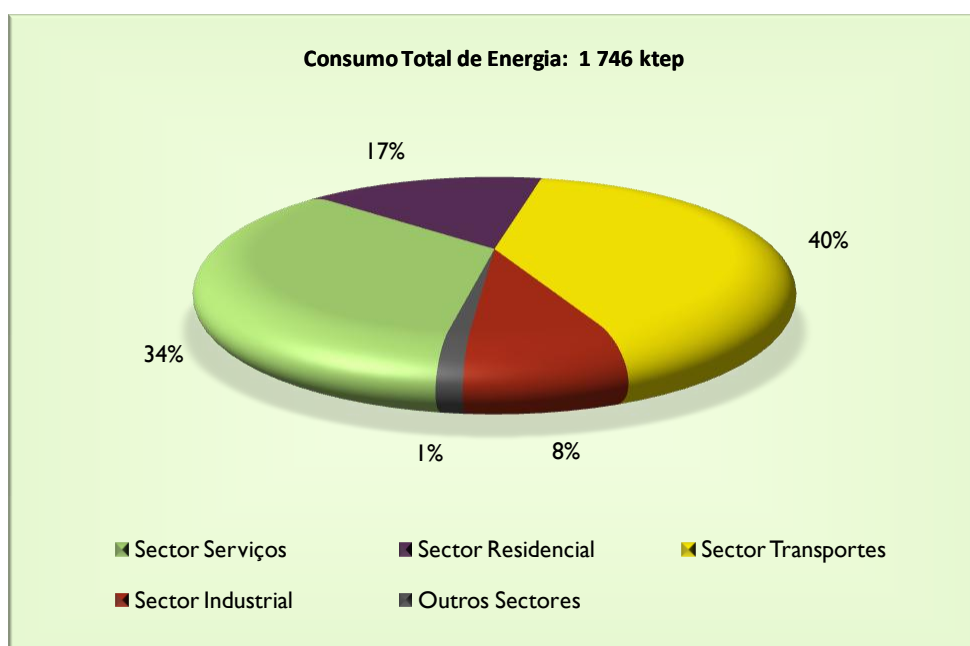


Figura 3.3: Consumo total de energia no concelho de Lisboa por sector consumidor, 2002.

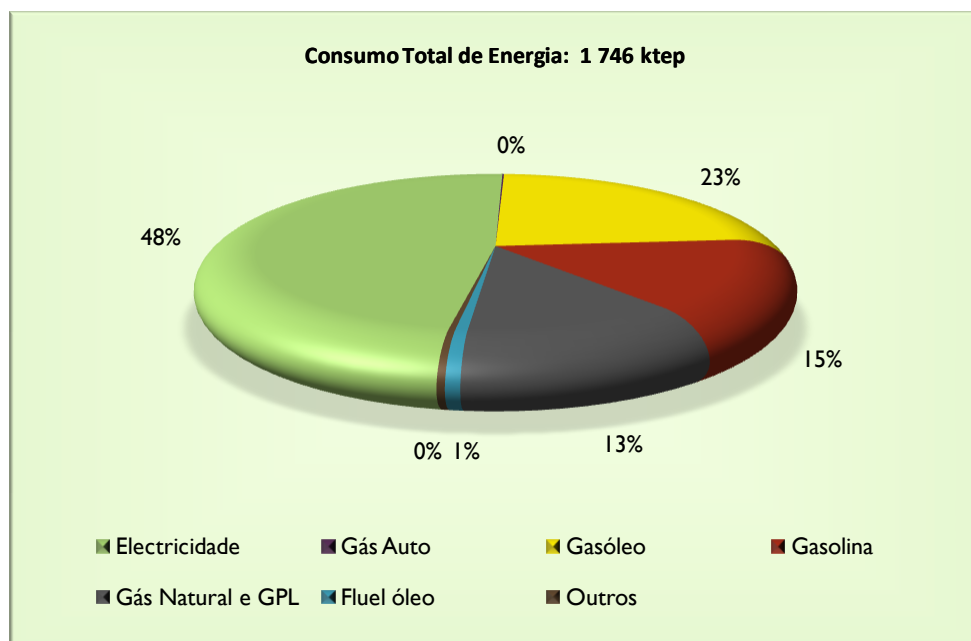


Figura 3.4: Consumo total de energia no concelho de Lisboa por vector energético, 2002.

Pela Figura 3.3 é possível observar que o principal sector consumidor de energia no concelho é o sector transportes, que corresponde a 40% dos consumos, seguido dos sectores serviços e residencial, que representam 34% e 17%, respectivamente. Em oposição, o sector indústria destaca-se por apresentar consumos muito inferiores aos dos restantes sectores, com apenas 8%.

Sendo a indústria, tipicamente, um sector consumidor intensivo de energia, os baixos consumos evidenciam a pouca representatividade das actividades industriais no concelho. Por sua vez, a elevada procura dos sectores serviços e transportes ilustra o peso considerável das actividades terciárias na económica do concelho e o estatuto da cidade de Lisboa como cidade de atravessamento (evidenciado pelo elevado consumo de energia nos transportes rodoviários, na medida que apenas 56% do tráfego rodoviário tem Lisboa como destino).

Relativamente a vectores energéticos (Figura 3.4), observa-se que a procura recai principalmente sobre a electricidade, que representa cerca de metade do consumo de energia (48%), seguindo-se o gasóleo (23%) e a gasolina (15%).

Mais de metade dos consumos de energia eléctrica são referentes a outros serviços, categoria que inclui as actividades comerciais. A elevada densidade de centros comerciais no concelho apresenta um contributo significativo para estes resultados.

A elevada procura por combustíveis rodoviários, tais como o gasóleo e a gasolina, evidencia também uma intensa actividade dos transportes no concelho.

É ainda de destacar a procura de fuelóleo relativamente elevada pelo sector dos serviços. Este combustível é tipicamente associado a utilizações industriais, contudo no concelho de Lisboa a procura recai maioritariamente sobre o sector serviços. Tais resultados advêm quer da baixa actividade industrial quer das elevadas intensidades energéticas das actividades comerciais.

Ao nível do sector doméstico destaca-se a preferência pelo uso de combustíveis gasosos para produção de águas quentes sanitárias, em detrimento do uso de energia eléctrica. Esta preferência verifica-se também ao nível da confecção de refeições. Destacam-se ainda as necessidades energéticas para aquecimento/arrefecimento do ar ambiente. Apesar de Lisboa apresentar um clima ameno, o parque habitacional do concelho é relativamente antigo, reflectindo-se no mau isolamento dos edifícios e consequentemente em maiores gastos de energia para a manutenção de conforto térmico.

3.4 Gestão de Resíduos

No concelho de Lisboa são geradas cerca de 630 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos e industriais (ano 2004), dos quais 45% são encaminhados para valorização energética, 43% para reciclagem e apenas 12% para deposição em aterro. As estimativas indicam ainda que no ano 2004 foram tratados no concelho de Lisboa cerca de 59 milhões de m³ de águas residuais, dos quais 43 milhões de m³ foram produzidas no concelho e 16 milhões de m³ tiveram origem noutros municípios (Lisboa E-Nova, 2008).

3.4.1 Resíduos sólidos urbanos

A Valorsul, S.A. é a entidade responsável pelo tratamento e valorização dos resíduos sólidos urbanos (RSU) produzidos em Lisboa, possuindo um sistema de gestão integrada de RSU que dá resposta a 3 tipos de recolha: indiferenciada, selectiva de materiais recicláveis e selectiva de matéria orgânica. O sistema é constituído por 5 instalações: CTRSU – Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos, CTE - Centro de Triagem e Ecocentro, AS - Aterro Sanitário, ETVO - Estação de Tratamento e Valorização Orgânica e ITVE - Instalação de Tratamento e Valorização de Escórias (Figura 3.5)



Figura 3.5: Localização das unidades operacionais da VALORSUL (Valorsul, 2003).

Como ilustrado na figura anterior, apenas o centro de triagem se situa no concelho de Lisboa, não havendo assim emissões de metano no concelho associadas ao tratamento de resíduos. Apesar de as restantes instalações não se encontrarem dentro dos limites geográficos do concelho em estudo, parte dos resíduos que chegam a estas instalações têm origem em Lisboa. Considera-se assim relevante salientar que estas as instalações têm sistemas de tratamento de gases de combustão (CTRSU), recolha e queima de biogás (AS), havendo inclusive sistemas de cogeração visando o aproveitamento do biogás para

produção de energia na ETVO. Deste modo, as emissões de metano associadas à gestão de resíduos sólidos no concelho são mínimas.

3.4.2 Águas residuais

No que respeita a águas residuais, em 2004 Lisboa encaminhou para tratamento 43 milhões de m³ estimando-se uma produção de 21 milhões de m³ águas residuais domésticas não interceptadas pela rede. A rede de saneamento do Município de Lisboa, gerida pela SIMTEJO, conflui em três em Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) localizadas em Alcântara, Beirolas e Chelas (Lisboa E-Nova, 2008).

A ETAR de Beirolas, situada no concelho de Loures, foi concebida para tratar os efluentes domésticos, num total de 213.500 habitantes equivalentes. A produção expectável de biogás diária ronda os 2800 m³, com conteúdo médio em CH₄ de aproximadamente 60%. O sistema foi, por isso, equipado com dois cogeneradores que valorizam o biogás produzido na digestão anaeróbia dos resíduos através da produção combinada de energia eléctrica e energia térmica, evitando assim a emissão de metano para a atmosfera (Monte, 2010).

A ETAR de Chelas está dimensionada para receber e tratar um caudal de 52.500 m³/dia correspondente a uma população equivalente da ordem dos 210.698 habitantes. Analogamente à ETAR de Beirolas, encontram-se em funcionamento dois cogeneradores para valorização do biogás (Monte, 2010).

A ETAR de Alcântara, construída nos anos 80, encontra-se actualmente em reestruturação, ficando dimensionada para atender a uma população de 756 mil habitantes e incluirá também cogeração a biogás.

Refere-se ainda a existência da fito-ETAR do Espaço Monsanto (EM), instalada no Parque Florestal de Monsanto, para o tratamento dos efluentes domésticos gerados por cerca de 40 funcionários do EM e uma média diária de 82 visitantes. O processo de tratamento consiste num tratamento preliminar e num tratamento primário, sendo o efluente posteriormente encaminhado para uma bacia de plantas ou leito KICKUTH, onde

ocorre o tratamento secundário - remoção da poluição essencialmente de origem orgânica - e terciário – remoção de alguns nutrientes.

3.5 Qualidade do ar

A questão da qualidade do ar é uma questão central no concelho de Lisboa, sendo Lisboa uma das cidades europeias que tem tido pior desempenho ao nível da qualidade do ar. Medições feitas na Av. da Liberdade conseguiram, inclusivamente, obter dos piores resultados a nível europeu (CML, 2008).

Na figura que se segue é apresentado o índice de qualidade do ar do concelho de Lisboa, para o período de 2002 a 2008. Este índice foi desenvolvido pela Agência Portuguesa Ambiente para traduzir a qualidade do ar de uma dada região com base nos valores médios de concentração atmosférica de cinco poluentes, designadamente o dióxido de azoto (NO_2), o dióxido de enxofre (SO_2), o monóxido de carbono, o ozono (O_3) e as partículas inaláveis ou finas PM_{10} (APA, 2010).

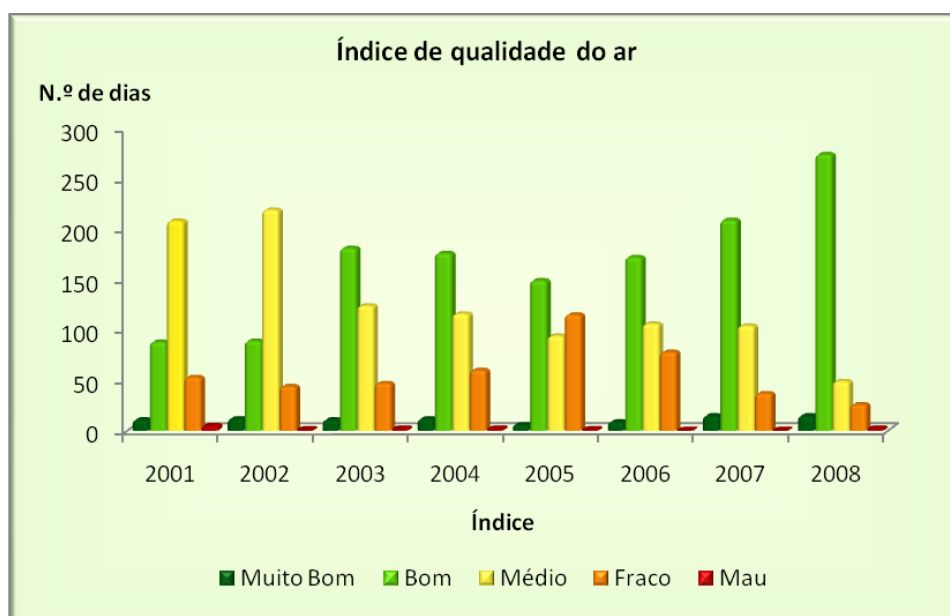


Figura 3.6: Índice de qualidade do ar do concelho de Lisboa, no período de 2001 a 2008 (adaptado de APA, 2010).

Os principais problemas no cumprimento da legislação ao nível da qualidade do ar, decorrem principalmente de serem excedidos os valores limites para a média anual e média diária de partículas PM₁₀, o valor limite para a média anual de NO₂ e o limiar de informação ao público para o O₃ na Primavera/Verão. O tráfego automóvel é a principal causa da degradação da qualidade do ar em Lisboa, assim como a principal origem de poluentes prejudiciais à saúde humana, como as partículas inaláveis. É, igualmente, uma das principais origens de emissões de gases com efeito de estufa (CML, 2008; Lisboa E-Nova, 2008).

Relativamente à qualidade do ar interior nos edifícios, esta chega a atingir níveis de qualidade 2 a 100 vezes inferiores à qualidade do ar exterior. O facto de ser nos edifícios que as pessoas passam cerca de 90 % do seu tempo faz com que a qualidade do ar interior nos edifícios não possa ser desconsiderada quando se fala de conforto e saúde ambientais (Lisboa E-Nova, 2008).

Os problemas de qualidade do ar no concelho constituíram uma das motivações para a assinatura de um protocolo entre a Câmara Municipal de Lisboa (CML) e a Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional da Região de Lisboa e Vale do Tejo (CCDR-LVT) com o objectivo de minimizar os problemas ambientais do concelho (Lisboa E-Nova, 2008).

4 Balanço de CO₂

No capítulo que se segue apresenta-se a metodologia de cálculo adoptada para a realização do balanço de CO₂ no concelho de Lisboa para o período de 2002. O cálculo do balanço de CO₂ traduziu-se na quantificação da diferença entre as emissões associadas à actividade antropogénica do concelho e o carbono sequestrado pelos ecossistemas vegetais inseridos nessa mesma área. Assim, o processo de cálculo do balanço decorreu em três etapas, nomeadamente a quantificação das emissões de CO₂, a determinação da quantidade de CO₂ sequestrado e, por fim, o cálculo do balanço de CO₂.

4.1 Quantificação das Emissões de CO₂

4.1.1 Abordagem metodológica

A quantificação das emissões de CO₂ do concelho de Lisboa foi efectuada de acordo com a metodologia definida no guia de apoio aos signatários do Pacto de Autarcas para a realização BEI (Inventário de Referência de Emissões) e do SEAP (Plano de Acção da Energia Sustentável). Este documento foi disponibilizado pelo Gabinete do Pacto dos Autarcas e elaborado pelo Centro Comum de Investigação (JRC - Joint Research Centre), que garante a prestação de apoio científico e técnico ao Pacto dos Autarcas, em colaboração com a Direcção Geral de Energia e Transportes (DG TREN - Directorate-General for Energy & Transport), com o Gabinete do Pacto de Autarcas (COMO - Covenant of Mayors' Office), e com o apoio de vários especialistas de municípios, autoridades regionais e outras entidades e empresas privadas (COMO, 2010).

A metodologia apresentada no guia de apoio à realização do BEI para a determinação das emissões de CO₂ tem como base de cálculo dados de actividade e factores de emissão para um dado ano de referência. Os dados de actividade visam a quantificação da actividade antropogénica que ocorre no território da autarquia local e correspondem aos consumos por fonte de energia e por sector consumidor. Os factores de emissão correspondem a coeficientes que quantificam as emissões por unidade de actividade. Neste guia são ainda disponibilizados factores de emissão e de conversão inerentes às metodologias propostas, assim como argumentos de apoio à tomada de decisão no que respeita à melhor metodologia a adoptar considerando as especificidades do território.

Sendo este o documento de referência de uma iniciativa da EU com a dimensão do Pacto dos Autarcas e na medida em que oferece um conjunto flexível e coerente de princípios e recomendações para o processo de quantificação de emissões de CO₂ de municípios, considerou-se interessante a adopção desta metodologia para a realização do balanço de emissões do concelho de Lisboa. Esta decisão teve ainda como base a disponibilidade de informação necessária à execução da metodologia apresentada neste documento.

A metodologia de execução do BEI apresentada no guia do Pacto dos Autarcas permite identificar as principais fontes antropogénicas de emissões de CO₂ num determinado território e num dado ano de referência. Podem ainda ser incluídos o CH₄ e o N₂O dependendo da abordagem preferencial, *standard* ou *LCA (Life Cycle Assessment)*, em que ambas as abordagens se distinguem fundamentalmente pelos factores de emissão de CO₂ a utilizar.

A abordagem *standard* encontra-se em conformidade com os princípios do IPCC, em que se assume que todas as emissões de CO₂ que ocorrem no território se devem ao consumo de energia, quer directamente, devido à combustão directa de combustíveis,

quer indirectamente, através queima de combustíveis para produção da electricidade e do calor/frio consumidos no território. Os factores de emissão *standard* são baseados no conteúdo de carbono de cada combustível, assumindo-se que todo o carbono do combustível é emitido sob a forma de CO₂. Esta abordagem assume também que as emissões de CO₂ resultantes da utilização sustentável de biomassa, de biocombustíveis e de energias renováveis são nulas.

A abordagem *LCA* tem em conta todo o ciclo de vida da fonte energética. Esta abordagem não se limita à contabilização das emissões da combustão final, incluindo também todas as emissões associadas à cadeia de abastecimento. Assim, são consideradas as emissões das etapas de exploração, transporte e processamento, para além da queima final incluindo, portanto, emissões que ocorrem fora do território onde o combustível é utilizado. Nesta abordagem as emissões de GEE a partir da utilização de biomassa, de biocombustíveis e de energias renováveis são superiores a zero. A metodologia considera também que outros gases com efeito de estufa para além do CO₂ podem desempenhar um papel relevante. A abordagem *LCA* é um método padronizado internacionalmente (séries ISO 14 040) e utilizada por um grande número de empresas e governos, inclusive, para a determinação de pegadas de carbono. Esta metodologia é também a base científica de estratégias temáticas sobre recursos naturais e resíduos, da Directiva de Ecodesign e do rótulo ecológico.

Complementarmente à descrição da metodologia a adoptar, são também disponibilizados no guia de apoio os factores de emissão passíveis de serem utilizados de acordo com a metodologia preferencial. Na Tabela 4.1 são apresentados os factores de emissão *standard* (baseados apenas no conteúdo de carbono do combustível) e os factores de emissão *LCA* (que consideram todo o ciclo de vida do combustível) para alguns dos combustíveis comumente utilizados nos territórios das autarquias. No Anexo A (Tabela A.1) apresenta-se uma lista de factores de emissão *standard* mais detalhada.

Tabela 4.1: *Factores de emissão de CO₂ standard e factores de emissão de CO₂eq LCA para os principais combustíveis (adaptado de COMO, 2010)*

Tipo de combustível	Factor de emissão <i>standard</i> [t CO₂/MWh]	Factor de emissão <i>LCA</i> [t CO₂eq/MWh]
Gasolina	0,249	0,299
Gasóleo	0,267	0,305
Fuelóleo residual	0,279	0,31
Antracite	0,354	0,393
Outro carvão betuminoso	0,341	0,38
Carvão semi-betuminoso	0,346	0,385
Lenhite	0,364	0,375
Gás natural	0,202	0,237
Líquidos de gás natural	0,231	-
Outros produtos de petróleo	0,264	-
Resíduos municipais (fracção inorgânica)	0,33	0,33
Madeira	0 – 0,403	0,002 – 0,405

Dado que os factores de emissão *standard* dependem do teor de carbono dos combustíveis, os seus valores não variam significativamente nem com o local de consumo e nem com actividade em que é utilizado. Por sua vez, os factores de emissão *LCA* são intrinsecamente dependentes dos processos a montante do consumo final de energia e consequentemente altamente variáveis de território para território e de actividade para actividade, inclusivamente para o mesmo tipo de combustível. Deste modo, o guia de apoio aos signatários recomenda que seja analisada a aplicabilidade dos factores de

emissão *LCA* disponibilizados e a determinação de factores *LCA* específicos para o território em questão, se necessário (COMO, 2010).

Independentemente da abordagem escolhida, a determinação das emissões de CO₂ ou CO₂eq foi realizada de acordo com a seguinte expressão:

$$E_{CO_2 C_X} = A_{C_X} \times FE_{C_X} \text{ (Equação 1)}$$

Em que:

$E_{CO_2 C_X}$ – Emissões de CO₂ referentes ao consumo do combustível C_x , em t de CO₂ ou t de CO₂eq, de acordo com a abordagem escolhida

A_{C_X} – Dados de actividade referentes ao consumo do combustível C_x [MWh]

FE_{C_X} – Factor de emissão de CO₂ para combustível C_x , em t de CO₂.MWh⁻¹ ou t de CO₂eq.MWh⁻¹, de acordo com a abordagem escolhida

No caso particular do cálculo de emissões de CO₂ associadas ao consumo de electricidade, o factor de emissão deverá reflectir a média das emissões de CO₂ relacionadas com a produção de electricidade nacional ou europeia. Os factores de emissão nacionais e europeus são variáveis ao longo dos anos, em função do mix energético utilizado na produção de electricidade. Estas oscilações são causadas pela procura de aquecimento/arrefecimento, disponibilidade de energias renováveis, situação do mercado energético, importação/exportação de energia, entre outros, podendo-se optar pela utilização quer do factor de emissão Europeu quer do nacional. Os factores de emissão *standard* e *LCA* para a energia eléctrica são apresentados na Tabela 4.2 para Portugal e para a UE. Note-se que os factores de emissão de *LCA* devem, em todos os casos ser maiores que os factores de emissão padrão. No entanto, devido às diferentes fontes de dados utilizadas e diferentes anos abrangidos pelos dois conjuntos de factores de emissão, os factores *standard* e *LCA* não são necessariamente comparáveis.

Tabela 4.2: *Factores de Emissão de CO₂ Standard e Factores de emissão de CO₂eq LCA para a energia eléctrica (adaptado de COMO, 2010)*

Região	Factor de emissão <i>standard</i> [t CO ₂ /MWh]	Factor de emissão <i>LCA</i> [t CO ₂ eq/MWh]
EU - 27	0,460	0,578
Portugal	0,369	0,750

Para o presente estudo optou-se por efectuar o cálculo de emissões seguindo as duas abordagens, com o objectivo de conhecer a diferença entre os resultados obtidos pelos distintos métodos e fundamentar a opção pela abordagem a adoptar. Para tal teve-se como base os consumos reais de energia do concelho (dados de actividade), obtidos através da Matriz Energética de Lisboa para a identificação da estrutura de consumos energéticos no concelho de Lisboa (Tabela 3.1).

Conhecendo os dados de actividade procedeu-se ao cálculo das emissões de CO₂ e de CO₂eq, para as metodologias *standard* e *LCA*, respectivamente, de acordo com a *Equação 1* e recorrendo aos factores de emissão respectivos, apresentados nas Tabelas 4.1, 4.2 e Anexo A (Tabela A.1).

De modo a validar os resultados obtidos pela adopção de ambas as metodologias referidas procedeu-se à comparação dos valores calculados para as emissões de CO₂ com os valores homólogos apresentados na matriz carbónica de Lisboa facultada pela Lisboa E-Nova e que se encontra disponível no Anexo B (Tabela B.1).

Salienta-se o facto de não terem sido consideradas as emissões associadas aos processos de gestão de resíduos (águas residuais e RSU). Esta opção teve como fundamento o facto de existirem mecanismos de recolha/aproveitamento de metano quer ao nível dos sistemas de gestão de RSU quer ao nível das estações de tratamento de águas

residuais, limitando de forma considerável as emissões deste gás. A indisponibilidade de informação relativa a estes sistemas condicionou também a opção tomada.

4.1.2 Cálculo das emissões de CO₂

De modo a proceder ao cálculo das emissões de CO₂ foi necessário proceder, primariamente, à conversão da unidade de energética apresentada na matriz (tep – tonelada equivalente de petróleo) para a unidade energética a que respeitam os factores de emissão (MWh). Para tal, foram utilizados os factores de conversão apresentados no Anexo C (Tabela C.1).

Dado que a matriz energética de Lisboa apresenta os consumos domésticos de gás natural e gases de petróleo liquefeito (GPL) agregados, foi ainda necessário proceder à sua desagregação, na medida em que os factores de emissão são específicos para cada fonte de energia. Para este cálculo recorreu-se à primeira versão da matriz carbónica de Lisboa, realizada em 2005 (Anexo B, Tabela B.2). Contrariamente à 2ª versão (actualização de 2008), na primeira versão são apresentadas as emissões totais de gás natural e GPL desagregadas. Deste modo determinou-se a proporção das emissões residenciais para o gás natural e GPL, subtraindo ao total das emissões dos sectores conhecidos. Dado que ambas as versões da matriz são referentes ao ano 2002 e que as emissões de CO₂ para uma dada fonte de energia são directamente proporcionais aos consumos dessa mesma fonte, assumiu-se que esta proporção se mantém para a 2ª versão da matriz. Assim, conhecendo as percentagens correspondentes aos consumos residenciais de gás natural e GPL foi possível determinar os valores absolutos correspondentes.

Após a realização dos cálculos preliminares descritos, procedeu-se à determinação das emissões de CO₂ utilizando a Equação 1 e os factores de emissão apresentados nas Tabelas 4.1, 4.2 e Anexo A (Tabela A.1), de acordo com as metodologias *standard* e *LCA*. Os resultados obtidos encontram-se compilados nas Tabelas 4.3 e 4.4, respectivamente.

Tabela 4.3: Emissões de CO₂ do concelho de Lisboa no ano 2002, segundo a metodologia standard [tCO₂.ano⁻¹]

Tipologias de utilização			Vectores energéticos								
			Electricidade	Gás Auto	Gasóleo	Gasolina	Gás Natural	GPL	Fluelóleo	Outros	Total
Edifícios	Serviços	Hotelaria/Restauração	87822	0	0	0	25252	681	558	0	114313
		Banca e Seguros	88560	0	0	0	3838	0	0	28	92426
		Administração Pública	70110	0	0	0	4040	454	279	528	75411
		Saúde	33579	0	0	0	15151	227	3906	0	52864
		Educação	45387	0	0	0	4646	227	0	28	50288
		Outros	352026	0	0	0	35353	26561	27903	17162	459005
		Sub-total serviços	677484	0	0	0	88282	28151	32646	17745	844308
	Residencial	Aquecimento de água	10332	0	0	0	121884		0	0	132216
		Frio doméstico	74169	0	0	0	0		0	0	74169
		Aquecimento ambiente	56457	0	0	0	15471		0	0	71928
		Confecção de refeições	15867	0	0	0	64392		0	0	80259
		Iluminação	40221	0	0	0	0		0	0	40221
		Lavagem mecânica	23985	0	0	0	0		0	0	23985
		Outros	35424	0	0	0	0		0	0	35424
		Sub-total residencial	256455	0	0	0	144550	56633	0	0	457638
	Sub-total edifícios		933939	0	0	0	232832	84784	32646	17745	1301946
Transportes	Rodoviário	0	5438	1242893	762481	0	0	0	0	2010812	
	Ferrovitário	43542	0	0	0	0	0	0	0	43542	
	Fluvial	0	0	8011	0	0	0	0	0	8011	
	Sub-total transportes	43542	5438	1250904	762481	0	0	0	0	2062365	
Indústria		54981	0	0	0	5657	241321	6697	1056	309711	
Outros		26937	0	0	0	0	0	1953	2640	31530	
Total		1059399	5438	1250904	762481	238489	326105	41296	21441	3705552	

Tabela 4.4: Emissões de CO₂ do concelho de Lisboa no ano 2002, segundo a metodologia LCA [tCO₂eq.ano⁻¹]

Tipologias de utilização			Vectores Energéticos								
			Electricidade	Gás Auto	Gasóleo	Gasolina	Gás Natural	GPL	Fluelóleo	Outros	Total
Edifícios	Serviços	Hotelaria/Restauração	178500	0	0	0	29628	-	620	-	30248
		Banca e Seguros	180000	0	0	0	4503	-	0	-	4503
		Administração Pública	142500	0	0	0	4740	-	310	-	5050
		Saúde	68250	0	0	0	17777	-	4340	-	22117
		Educação	92250	0	0	0	5452	-	0	-	5452
		Outros	715500	0	0	0	41479	-	31003	-	72482
		Sub-total serviços	1377000	0	0	0	103579	-	36273	-	139852
	Residencial	Aquecimento de água	21000	0	0	0	-		0	-	0
		Frio doméstico	150750	0	0	0	-		0	-	0
		Aquecimento ambiente	114750	0	0	0	-		0	-	0
		Confecção de refeições	32250	0	0	0	-		0	-	0
		Iluminação	81750	0	0	0	-		0	-	0
		Lavagem mecânica	48750	0	0	0	-		0	-	0
		Outros	72000	0	0	0	-		0	-	0
		Sub-total parcial	521250	0	0	0	169596	-	0	-	169596
	Sub-total edifícios		1898250	0	0	0	273174	-	36273	-	309448
Transportes	Rodoviário	0	0	1419784	915589	0	-	0	-	2335374	
	Ferroviário	88500	0	0	0	0	-	0	-	0	
	Fluvial	0	0	9151	0	0	-	0	-	9151	
	Sub-total transportes	88500	0	1428935	915589	0	-	0	-	2344524	
Indústria			111750	0	0	0	6637	-	7441	-	14077
Outros			54750	0	0	0	0	-	2170	-	2170
Total			2153250	0	1428935	915589	279811	-	45884	-	2670220

De modo a comparar as diferenças entre os resultados obtidos e a matriz energética de Lisboa, efectuaram-se os gráficos abaixo apresentados. Estes gráficos são ilustrativos da comparação entre as emissões de CO₂ apresentadas na matriz de carbono de Lisboa (Anexo B, Tabela B.1) e as emissões calculadas segundo as abordagens *standard* e *LCA* (Figura 4.1).

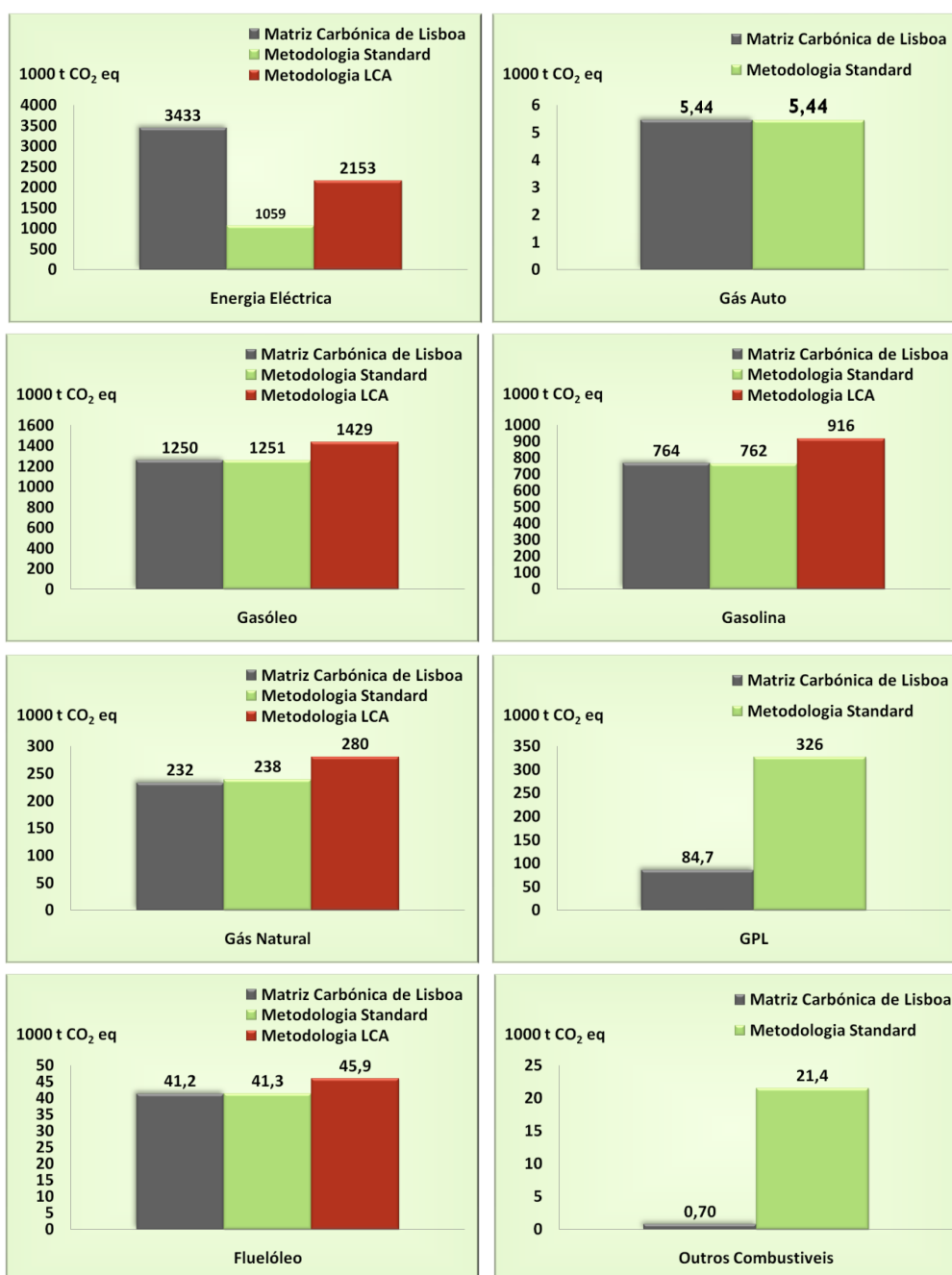


Figura 4.1: Emissões de CO₂ no concelho de Lisboa no ano 2002, por fonte de energia e por metodologia de cálculo.

Os gráficos apresentados evidenciam as diferenças entre os valores de emissões de CO₂ obtidos recorrendo a cada uma das metodologias em estudo. Estas diferenças são resultantes, essencialmente, da adopção de diferentes factores de emissão, na medida em que as três matrizes carbónicas têm como base os dados de actividade apresentados na matriz energética de Lisboa actualizada em 2008.

Na Tabela 4.5 são apresentados os factores de emissão utilizados para a execução da matriz carbónica de Lisboa e das matrizes obtidas recorrendo à metodologia *standard* e *LCA*.

Tabela 4.5: *Factores de emissão utilizados para a realização da matriz de carbono de Lisboa e para as matrizes standard e LCA*

Fonte de energia	Factores de emissão da matriz de Lisboa [t CO ₂ .MWh ⁻¹]	Factores de emissão <i>standard</i> [t CO ₂ .MWh ⁻¹]	Factores de emissão <i>LCA</i> [t CO ₂ eq.MWh ⁻¹]
Electricidade	1,19	0,37	0,75
Gás Natural	0,21	0,23	0
Fuelóleo	0,28	0,28	0,31
Gasóleo	0,27	0,27	0,31
Gasolinas	0,25	0,25	0,30

Analisando os factores de emissão apresentados verifica-se uma diferença significativa entre os diversos factores de emissão da electricidade, facto que se reflecte posteriormente nas matrizes carbónicas, com a matriz de Lisboa a apresentar valores muito superiores às restantes. Esta diferença deve-se ao facto de o factor de emissão da energia eléctrica ser fortemente condicionado pelo mix energético utilizado para produção de electricidade. Sendo a matriz energética referente ao ano 2002, o factor de emissão a ela associado não reflecte ainda a recente e elevada introdução de energia de origem renovável na rede eléctrica nacional, assim como a substituição, em centrais de cogeração, de combustíveis mais poluentes como fuelóleo ou o carvão, por

outros com menores emissões de CO₂, como o gás natural. Por sua vez, a metodologia do Pacto dos Autarcas, sendo mais recente, reflecte já estas tendências, traduzindo-se num factor de emissão significativamente mais baixo e consequentemente dando origem a resultados muito inferiores (Figura 4.1). Este resultado evidencia a importância da utilização de factores de emissão para a energia eléctrica definidos em função do mix energético que deu origem a essa energia eléctrica, no ano em questão, pelo que estes factores devem ser actualizados anualmente.

Os restantes factores de emissão não apresentam diferenças acentuadas, salientando-se apenas o facto de os factores de emissão *LCA* serem superiores aos factores *standard*. Esta diferença resulta das metodologias de cálculo destes factores de emissão, em que os factores *standard* têm como base as emissões de CO₂ resultantes da combustão, admitindo uma combustão completa e os factores *LCA* consideram todas emissões associadas ao ciclo de vida de combustíveis, incluindo extracção, transporte e combustão.

Os valores obtidos para as matrizes carbónicas são igualmente distintos, observando-se maior similaridade entre os valores da matriz de Lisboa (Anexo B, Tabela B.1) e a matriz *standard*. Exceptuam-se as emissões com origem no consumo de energia eléctrica, devido às diferenças dos factores de emissão, como supracitado. Também de acordo com o já referido, a matriz *LCA* apresenta valores ligeiramente superiores aos das restantes matrizes.

Salienta-se o facto de não serem conhecidos alguns dos factores de emissão *LCA*, designadamente os valores referentes aos gases de petróleo liquefeitos e à categoria “Outros Combustíveis Petrolíferos” dado que não se conhece com rigor os combustíveis incluídos nestas categorias e a proporção em que se encontram. Assim, relativamente aos factores de emissão utilizados na categoria “Outros Combustíveis Petrolíferos” para a metodologia *standard*, considerou-se o factor referente a “outros petrolíferos”. Desta forma procurou-se ultrapassar o facto de não se conhecer a mistura energética incluída nesta categoria. Contudo, comparando os valores obtidos (704 tCO₂, pela matriz carbónica de Lisboa e 21 441 tCO₂, pela metodologia *standard*) verifica-se que esta aproximação introduz um erro significativo.

Para a determinação do balanço de emissões optou-se por utilizar os valores obtidos pela metodologia *standard*, em detrimento dos referentes ao método *LCA*. Esta opção foi motivada pela indisponibilidade de factores de emissão para os gases de petróleo (GPL e gás auto), assim como pelo facto de os factores de emissão *LCA* serem fortemente variáveis em função do uso final da energia e da origem da fonte energética. Considerou-se assim que a utilização de factores de emissão *LCA* não específicos para os consumos no concelho de Lisboa introduziria erros muito superiores aos associados à metodologia *standard*.

Com base nos resultados obtidos, apresentaram-se nas Figura 4.2 e 4.3 as emissões de CO₂ para o concelho de Lisboa no ano 2002, por vector energético consumido e por sector consumidor de energia (obtidos pela metodologia *standard*).

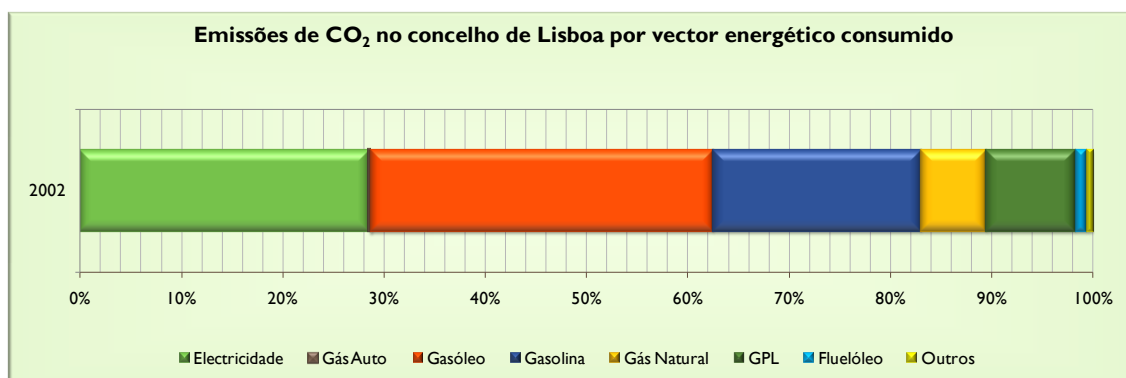


Figura 4.2: Emissões de CO₂ no concelho de Lisboa por vector energético consumido, em 2002.

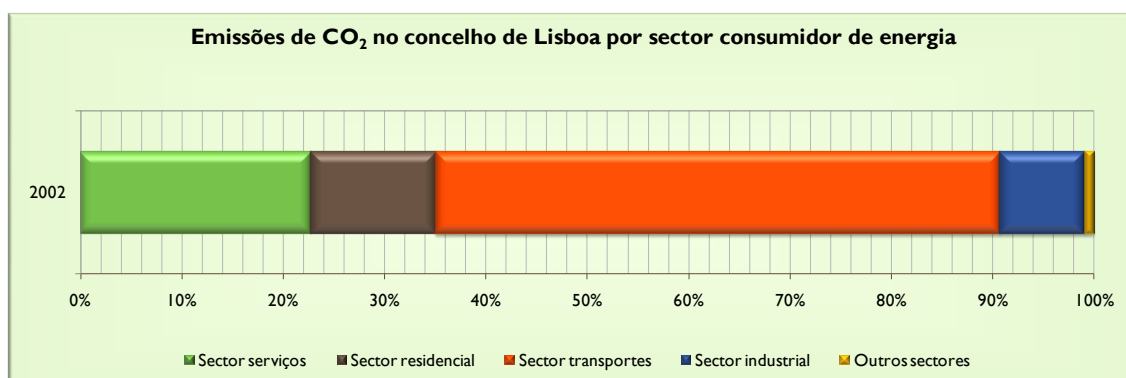


Figura 4.3: Emissões de CO₂ no concelho de Lisboa por sector consumidor de energia, em 2002.

De acordo com o ilustrado na Figura 4.2, as emissões de CO₂ no concelho de Lisboa resultam fundamentalmente do consumo de electricidade (25%), de combustíveis associados ao sector transportes, como o gasóleo (34%) e a gasolina (21%). O elevado contributo do sector transportes para as emissões de CO₂ do concelho é ainda confirmado pela Figura 4.3, onde é possível verificar que as emissões deste sector de actividade representam cerca de 55% do total do concelho.

No que respeita às emissões de CO₂ associadas ao consumo dos restantes vectores energéticos constata-se que as emissões consequentes da combustão de gás natural (6%), GPL (9%) e fuelóleo (1%) são relativamente baixas quando comparadas com as emissões atribuídas aos consumos de electricidade, gasóleo e gasolina.

No que respeita às emissões de CO₂ por sector consumidor, destaca-se o contributo elevado do sector dos transportes, como referido, surgindo seguidamente o sector serviços com 22% e o sector residencial, com cerca de 12%. As emissões de CO₂ atribuídas ao sector industrial representam apenas 8%.

Este resultados das emissões de CO₂ encontram-se concordantes com dados de consumo de energia no concelho, em que também se evidenciam os consumos de electricidade (48%), gasóleo (23%) e gasolina (16%), no que respeita a vectores energéticos e os sectores transportes (40%), serviços (34%) e doméstico (17%), relativamente aos sectores consumidores.

Salienta-se ainda o facto de os valores de percentagem acima apresentados para os consumos e emissões, por vector energético e sector consumidor, não serem exactamente coincidentes, o que evidencia as diferenças entre os factores de emissão de cada fonte de energia.

Por fim, pode-se afirmar que o concelho de Lisboa emitiu cerca de 3.705.552 tCO₂ durante o ano de 2002.

4.2 Determinação da Quantidade de CO₂ Sequestrado

4.2.1 Abordagem metodológica

Para a determinação da quantidade de CO₂ sequestrado foi necessário caracterizar a área de estudo no que respeita a áreas com potencial de sequestro de CO₂. Esta caracterização teve como base a utilização de ferramentas de informação geográfica de modo a identificar e quantificar as áreas correspondentes aos espaços verdes do território, e ainda estimar a sua composição em termos de espécies vegetais.

Para definição dos limites do concelho em estudo recorreu-se à Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP) V5.0, disponibilizada pelo Instituto Geográfico Português (IGP). A CAOP V5.0 apresenta informação referente aos limites administrativos oficiais ao nível de país, distrito, concelho e freguesia, no ano 2006, e apresenta, no mínimo, um rigor associado à escala 1:25 000 (IGP, 2006).

Para a determinação das áreas com potencial de sequestro foram consideradas três cartas distintas, designadamente a Carta de Ocupação do Solo de 1990 (COS'90), a carta CORINE Land Cover 2006 (CLC 2006) e a 3ª revisão do Inventário Florestal Nacional (IFN), referente ao período de 1995 -1998.

A COS'90 foi produzida pelo Centro Nacional de Informação Geográfica (CNIG), actual Instituto Geográfico Português (IGP), em associação com a Associação das Empresas Produtoras de Pasta de Celulose (ACEL), actual Associação Nacional da Indústria Papeleira (CELPA). Este produto tem uma escala nominal de 1:25 000 e área mínima cartografável de 1 ha. A nomenclatura da COS'90 apresenta informação detalhada relativamente às espécies florestais ocorrentes no território nacional, designadamente acerca do seu estado de desenvolvimento e conservação. A legenda estabelece uma grande variedade de combinações entre os vários tipos de cobertura, totalizando mais de oitocentos tipos de diferentes ocorrências, para as quais os códigos relativos se compõem de três dígitos. Estes indicam o tipo de cobertura geral, o grau de coberto (no caso das espécies florestais) e por vezes um tipo de cobertura mais

específico (com especial relevo para as zonas agrícolas) (Carrão et al., 2002).

O projecto CORINE Land Cover surgiu por iniciativa da Comissão Europeia com o objectivo de produzir cartografia de ocupação e uso do solo para toda a Europa. O mapa CLC 2006 é um dos produtos CLC mais recentes para Portugal Continental. Tem uma escala de 1: 100 000, unidade mínima cartográfica (UMC) de 25 ha, exactidão geométrica superior a 100m e possui uma nomenclatura hierárquica de 3 níveis com 44 classes ao nível mais detalhado (GDR, 2009).

O Inventário Florestal Nacional constitui uma ferramenta de avaliação e monitorização da extensão e condição dos recursos florestais nacionais de natureza pública, da responsabilidade da Direcção-Geral das Florestas. Esta ferramenta fornece informação estatística a nível nacional, com desagregação por NUTS II e, no caso da ocupação do solo, por NUTS III, abordando os seguintes temas: áreas da ocupação do solo de Portugal continental; estrutura dos povoamentos florestais; produção florestal de bens lenhosos e não lenhosos; vitalidade e sanidade dos povoamentos florestais e alterações da floresta ao longo do tempo. A 3ª revisão do IFN foi produzida a partir de informação extraída da cobertura aero-fotográfica de Portugal continental de 1995 e considerando a CAOP de 1999. No âmbito desta revisão do IFN foram produzidos dois conjuntos de mapas 1:1 000 000 destinados a análises de pequena escala do coberto florestal de Portugal continental. As diferentes categorias de ocupação do solo consideradas nesta carta foram organizadas segundo uma classificação do uso/ocupação do solo que apresenta uma organização hierárquica, de 5 níveis. Esta classificação foi definida com o objectivo de permitir uma análise detalhada do coberto florestal (DGF, 2001).

Após identificadas e caracterizadas as áreas do Município de Lisboa com potencial de sequestro, procedeu-se ao cálculo do carbono (C) sequestrado pelos respectivos ecossistemas vegetais, atendendo à seguinte expressão:

$$S_{C_{Lisboa}} = \sum_x (A_{E_{cossitemax}} \times PLE_{E_{cossitemax}}) \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

$S_{C_{Lisboa}}$ – Quantidade de C sequestrado no concelho de Lisboa [t CO₂]

$A_{Ecosystema_x}$ – Área do ecossistema x, identificado como potencial sumidouro de carbono [ha]

$PLE_{Ecosystema_x}$ – Produtividade Líquida do Ecossistema x, identificado como potencial sumidouro de carbono [t CO₂.ha⁻¹.ano⁻¹]

Conhecendo a quantidade de C sequestrado no concelho de Lisboa foi possível determinar a quantidade de CO₂ sequestrado através da equação:

$$S_{CO_2_{Lisboa}} = S_{C_{Lisboa}} \times FC_{CO_2} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:

$S_{CO_2_{Lisboa}}$ – Quantidade de CO₂ sequestrado no concelho de Lisboa [t CO₂]

$S_{C_{Lisboa}}$ – Quantidade de C sequestrado no concelho de Lisboa [t CO₂]

FC_{CO_2} – Factor de conversão de massa de C para massa CO₂ [adimensional]

O factor de conversão FC_{CO_2} corresponde à razão entre o peso molecular do CO₂ (2×16,00+12,01=44,01) e a massa atómica do C (12,01):

$$FC_{CO_2} = \frac{44,01}{12,01} = 3,664$$

4.2.2 Quantidade de CO₂ Sequestrado

Para a determinação da capacidade de sequestro das espécies florestais existentes na área de estudo, foi necessário determinar as áreas com potencial de sequestro de carbono, assim como a sua caracterização em termos de espécies vegetais que as constituem.

Para a determinação das áreas com potencial de sequestro recorreu-se às cartas COS90, IFN 3ª Rev. e CLC06, apresentando-se a referida cartografia para o concelho de Lisboa nas figuras 4.4, 4.5 e 4.6, respectivamente.

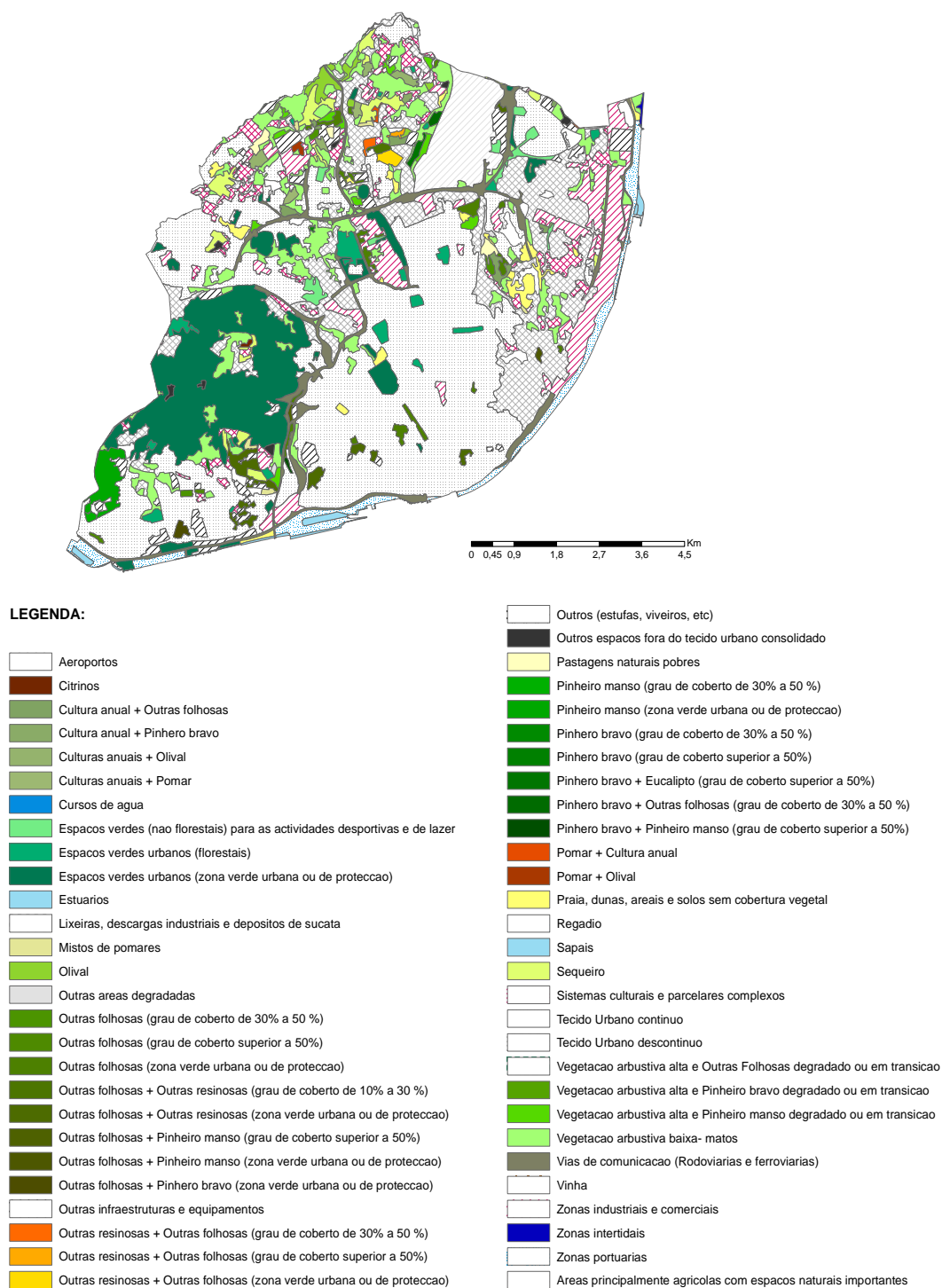
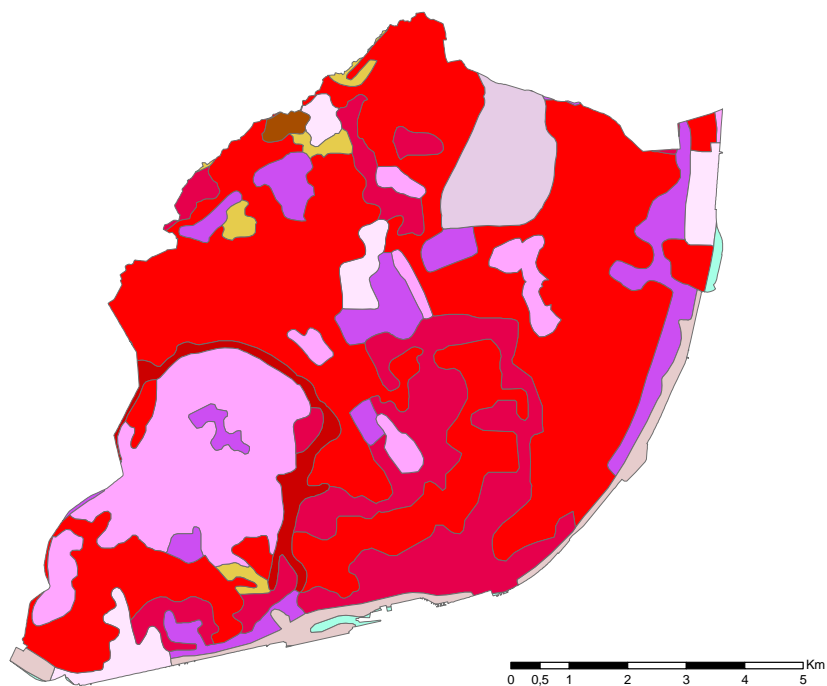


Figura 4.4: Carta COS90 do concelho de Lisboa.



LEGENDA:

- Tecido urbano contínuo
- Tecido urbano descontínuo
- Indústria, comércio e equipamentos gerais
- Redes viárias e ferroviárias e espaços associados
- Áreas portuárias
- Aeroportos e aeródromos
- Áreas de deposição de resíduos
- Espaços verdes urbanos
- Equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas
- Agricultura com espaços naturais e semi-naturais
- Desembocaduras fluviais

Figura 4.5: Carta CLC 2006 do concelho de Lisboa.

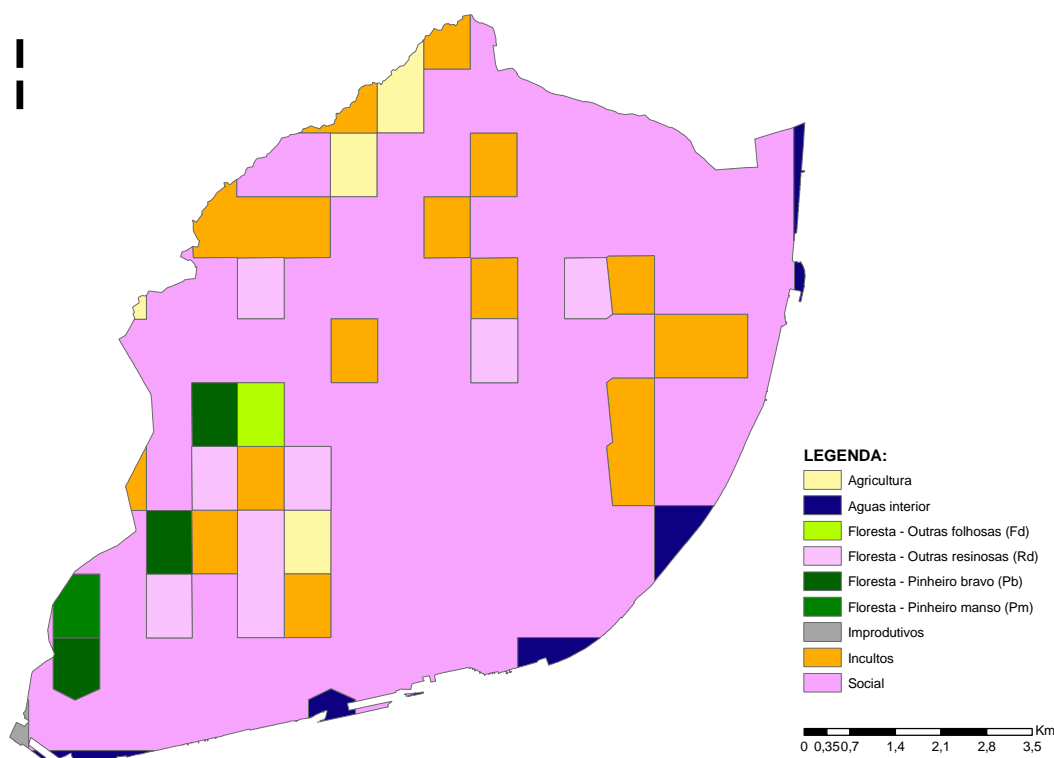


Figura 4.6: Carta IFN 3ª Rev. do concelho de Lisboa.

Na medida em que a COS 90 apresenta uma resolução em termos de caracterização das áreas verdes (escala 1:25 000) muito superior à restante cartografia (escalas 1:100 000 e 1:1 000 000, para a CLC 2006 e para o IFN, respectivamente) optou-se por utilizar esta carta como base do estudo. Dado o ano a que se refere esta carta ser 1990, pretendeu-se ainda sobrepor as cartas COS90 e CLC 2006 de modo a atribuir à COS 90 um maior grau de actualização para o concelho de Lisboa. Contudo, observando a Figura 4.4 e a Figura 4.5 é notória a existência de inúmeras áreas representadas na COS90 que não se encontram representadas na CLC 2006 devido à menor resolução desta última. Deste modo, ao efectuar a sobreposição das cartas não seria possível confirmar que as áreas não coexistentes em ambas as cartas resultam de alterações do uso do solo e não apenas de diferenças de resolução, considerando-se assim não ser possível proceder à avaliação pretendida.

Observando a Figura 4.4 é possível distinguir diversas áreas sem cobertura vegetal, como áreas urbanas e de infra-estruturas, entre outros, procedendo-se assim à eliminação destas áreas sem potencial de sequestro de carbono da cartografia a utilizar.

A Figura 4.4 evidencia ainda a existência de áreas com potencial de sequestro cuja classificação da composição vegetal não se encontra claramente definida, nomeadamente áreas classificadas como *espaços verdes*. De modo a classificar a composição vegetal destas áreas utilizou-se a carta do IFN (3ª revisão).

Dado que apenas parte da área do parque florestal de Monsanto é passível de caracterização, de acordo com a metodologia supracitada, assumiu-se que a área de classificação conhecida é representativa da área total do parque e estimou-se a composição da restante área desconhecida. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: *Composição arbórea estimada para o Parque Florestal de Monsanto*

Tipo de povoamento florestal	Área [ha]
Pinheiro-manso (<i>Pinus pinea</i>)	20
Pinheiro-bravo (<i>Pinus pinaster</i>)	197
Outras resinosas	456
Outras folhosas	108
Total	784

Devido à indisponibilidade de mais fontes de informação, não foi possível caracterizar as restantes áreas cuja composição vegetal é desconhecida. Na Figura 4.7 são apresentadas as áreas com potencial de sequestro de CO₂ no concelho de Lisboa classificadas, não classificadas e de classificação estimada relativamente à composição vegetal. No Anexo D encontram-se compiladas as classes de uso do solo do concelho de

Lisboa com potencial de sequestro de CO₂ e respectivas áreas, resultantes do trabalho descrito.

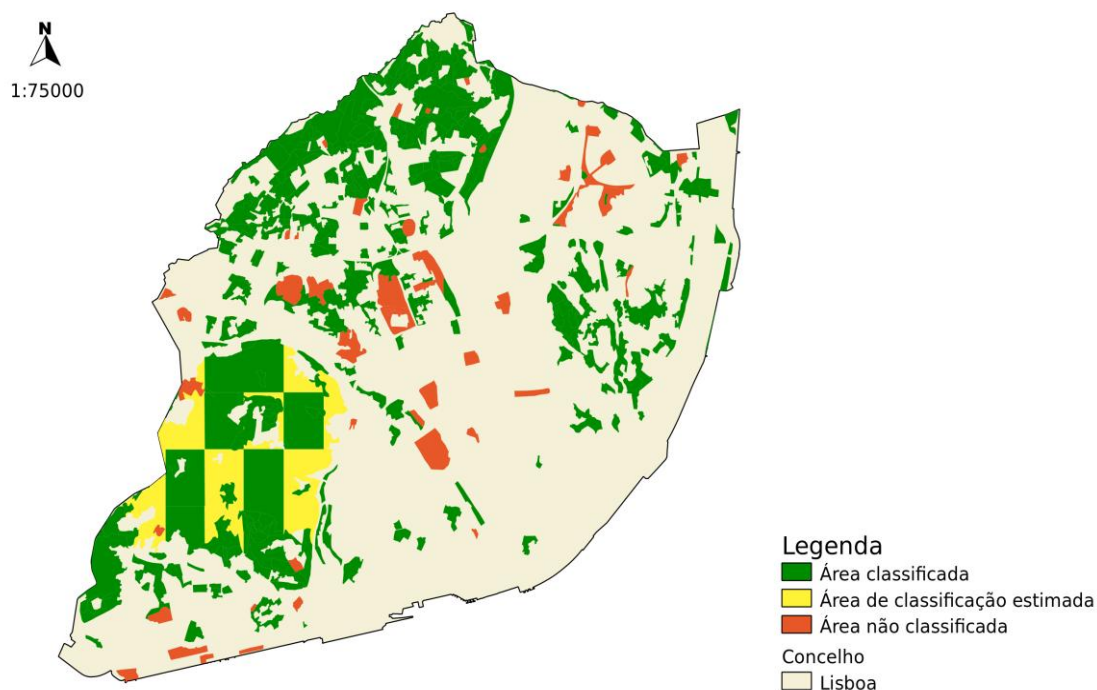


Figura 4.7: Áreas com potencial de sequestro de CO₂ no concelho de Lisboa classificadas, não classificadas e de classificação estimada relativamente à composição vegetal.

Para a quantificação do total de carbono sequestrado foi também necessário conhecer a produtividade líquida de cada um dos ecossistemas com potencial de sequestro de carbono da área de estudo. Devido há dependência da PLE de factores como as classes de idades da floresta, densidade florestal, clima, características dos solos e gestão florestal, sobre as taxas fotossintéticas e respiratórias do ecossistema, optou-se pela utilização de valores de PLE de ecossistemas situados em Portugal Continental (Anexo E), de modo a limitar a introdução de erros mais significativos.

Considerando a diversidade de classes de uso do solo obtida (Anexo D, Tabela D.1), procedeu-se ao agrupamento das classes com composição vegetal dominante similar e tendo como base os ecossistemas para os quais se possuem dados de PLE disponíveis. Na tabela seguinte (Tabela 4.7) são apresentadas as classes de uso do solo consideradas para o cálculo do balanço de CO₂ e respectivas áreas.

Tabela 4.7: *Classes de uso do solo consideradas para o cálculo do balanço de CO₂ no concelho de Lisboa e respectiva área*

Classes de uso do solo	Área [ha]
Espaços verdes urbanos florestais	94
Pinheiro bravo	200
Pinheiro manso	83
Outras resinosas	475
Outras folhosas	189
Pinheiro bravo + Pinheiro manso	6
Pinheiro bravo + Eucalipto	8
Pinheiro bravo + Outras folhosas	5
Outras folhosas + Pinheiro bravo	8
Outras folhosas + Pinheiro manso	5
Outras folhosas + Outras resinosas	73
Outras resinosas + Outras folhosas	21
Pastagens naturais	20
Regadio	23
Sequeiro	118

As classes de uso do solo com potencial de sequestro de CO₂ para as quais não é conhecida a PLE ou cuja composição vegetal não é passível de caracterização encontram-se apresentadas no Anexo F. A área correspondente a estas classes de uso do solo não pode assim ser considerada para o cálculo do balanço de CO₂, salientando-se que o seu total corresponde a 1357 ha, cerca de 50% da área total do concelho com potencial de sequestro de CO₂.

Para o cálculo do balanço de CO₂ foi ainda necessário estimar a PLE de alguns ecossistemas, nomeadamente para povoamentos mistos ou ecossistemas para os quais

sejam conhecidos intervalos de PLE ou existam diversos estudos de referência. Assim, efectuaram-se as seguintes considerações para a estimativa da PLE dos ecossistemas considerados na Tabela 4.7:

- **Povoamentos puros de espécie vegetal conhecida (pinheiro bravo, pinheiro manso, eucalipto, sobreiro (montado) e carvalho-negral):** assumiu-se que o valor de PLE é igual ao dos resultados do estudo de referência. Aquando da existência de mais do que um estudo de referência ou de um intervalo de valores de PLE, determinou-se a média aritmética desses valores na medida em que não é conhecida informação que permita o cálculo de uma média ponderada
- **Outras resinosas:** assumiu-se que a média dos valores de PLE do pinheiro bravo, e do pinheiro manso é representativa da PLE das florestas de outras resinosas, na medida em que não se conhece a proporção de cada espécie vegetal que a constitui
- **Outras folhosas:** assumiu-se que a média dos valores de PLE do eucalipto, do montado e do carvalho-negral é representativa da PLE das florestas de outras folhosas, na medida em que não se conhece a composição destas áreas em termos de espécie vegetal que a constitui e a respectiva proporção
- **Povoamentos mistos (Pinheiro bravo + Eucalipto, Pinheiro bravo + Outras folhosas, Outras folhosas + Pinheiro bravo, Outras folhosas + Pinheiro manso, Outras folhosas + Outras resinosas, Outras resinosas + Outras folhosas e Outras resinosas):** assumiu-se uma média ponderada dos valores de PLE, considerando uma composição de 2/3 de espécie dominante e 1/3 de espécie secundária, na medida em que não se conhece a proporção efectiva de cada espécie vegetal na constituição do ecossistema. A espécie dominante (em maior proporção) corresponde à primeira referência no nome do povoamento e a espécie secundária (em menor proporção) corresponde à segunda referência no nome do povoamento

- **Pastagens naturais e culturas de sequeiro e regadio:** considerou-se um valor de PLE igual ao dos resultados do estudo de referência. No caso da existência de mais do que um estudo de referência ou de um intervalo de valores de PLE, determinou-se a média aritmética desses valores dado que não é conhecida informação que permita a realização de uma média ponderada.

Salienta-se o facto de os valores de PLE conhecidos serem estimados com base em estudos efectuados em anos distintos, pelo que se considerou que, globalmente, estes valores de PLE são representativos da capacidade média anual de sequestro dos ecossistemas em estudo. Os valores de PLE estimados para cada classe de uso do solo, tendo em conta as considerações citadas, são apresentados na Figura 4.8.

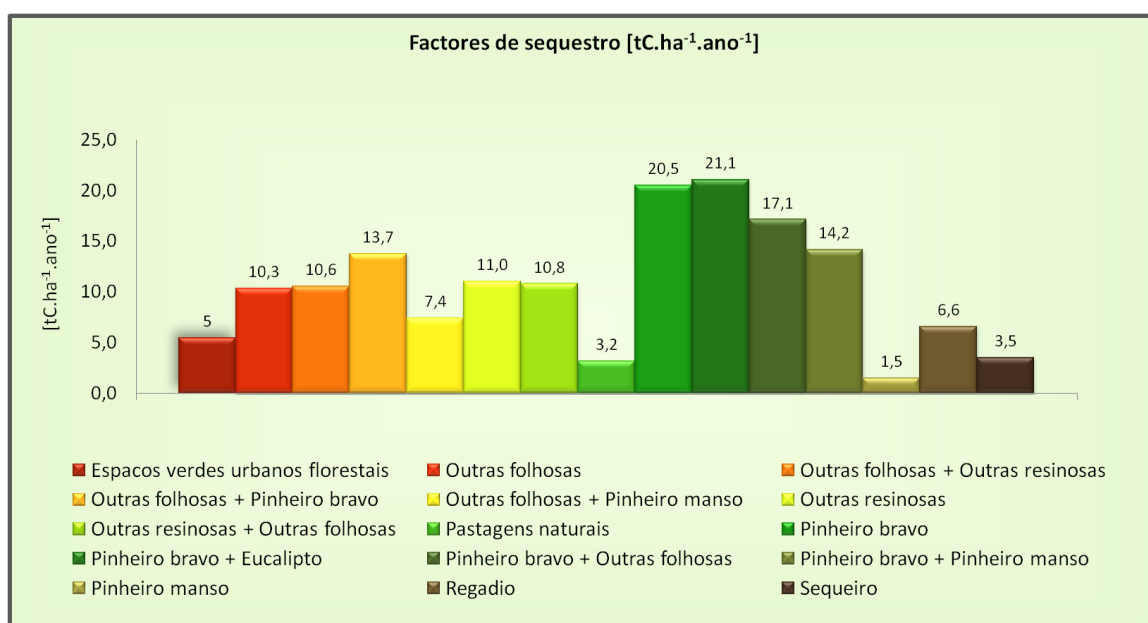


Figura 4.8: PLE dos ecossistemas do concelho de Lisboa com potencial de sequestro de CO₂, considerados para o cálculo do balanço.

Seguidamente procedeu-se à determinação do sequestro de carbono no concelho de Lisboa recorrendo às Equações 2 e 3. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8: Resultados do cálculo do sequestro de CO₂ no concelho de Lisboa, com representação gráfica da percentagem de área e de CO₂ sequestrado por classe de uso do solo.

Classe de uso do solo	Área [ha]	Factor de sequestro [tC.ha ⁻¹ .ano ⁻¹]	C sequestrado [tC.ano ⁻¹]	CO ₂ sequestrado [tCO ₂ .ano ⁻¹]
Espacos verdes urbanos florestais	94	5,4	511,3	1874
Outras folhosas	189	10,3	1959,0	7179
Outras folhosas + Outras resinosas	73	10,6	774,5	2838
Outras folhosas + Pinheiro bravo	8	13,7	103,7	380
Outras folhosas + Pinheiro manso	5	7,4	37,8	139
Outras resinosas	475	11,0	5228,2	19158
Outras resinosas + Outras folhosas	21	10,8	224,2	822
Pastagens naturais	20	3,2	64,5	236
Pinheiro bravo	200	20,5	4093,0	14999
Pinheiro bravo + Eucalipto	8	21,1	164,6	603
Pinheiro bravo + Outras folhosas	5	17,1	91,6	336
Pinheiro bravo + Pinheiro manso	6	14,2	81,8	300
Pinheiro manso	83	1,5	124,5	456
Regadio	23	6,6	154,0	564
Sequeiro	118	3,5	417,4	1529
Total	1329	157	14030	51412

Nas figuras seguintes, Figura 4.9 e 4.10, é ilustrada a distribuição percentual das áreas com potencial de sequestro de CO₂ do concelho de Lisboa, por classe de uso do solo e o contributo percentual de cada classe de uso do solo para o sequestro de CO₂.

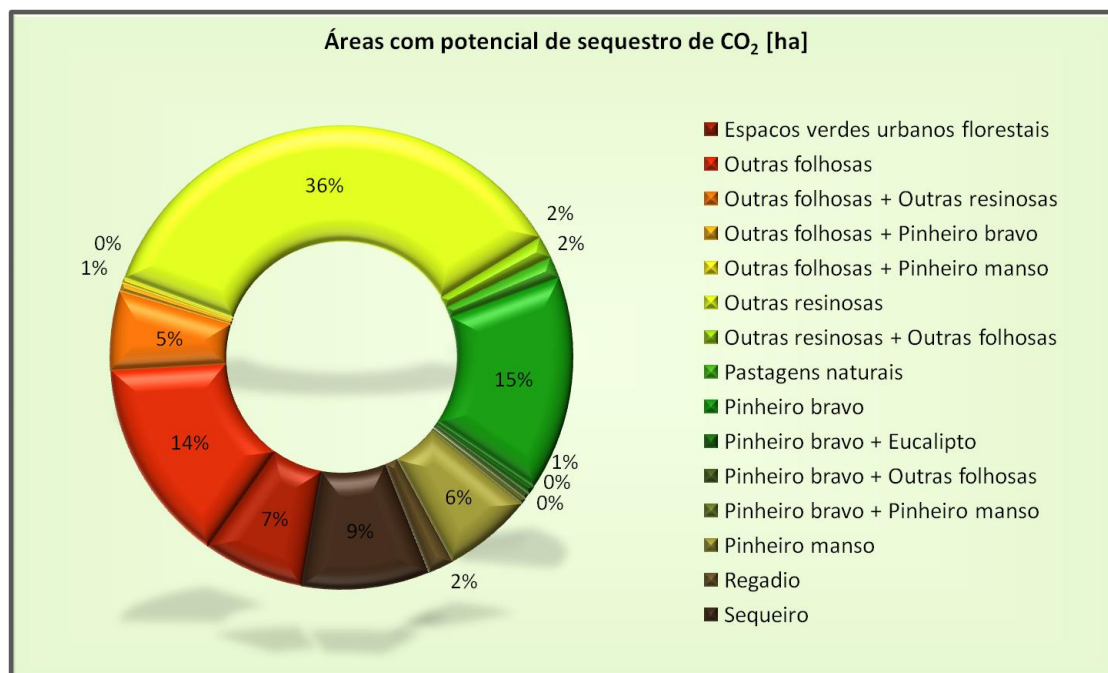


Figura 4.9: Distribuição percentual da área do concelho de Lisboa com potencial de sequestro de CO₂ por classe de uso do solo.

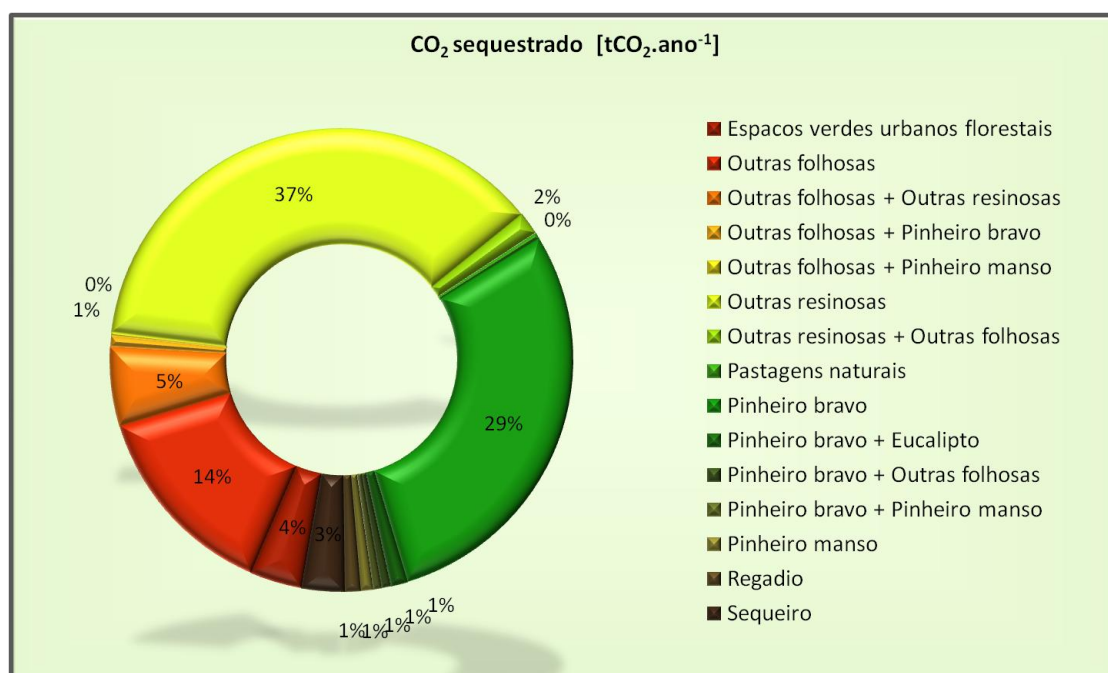


Figura 4.10: Distribuição percentual do sequestro de CO₂ do concelho de Lisboa por classe de uso do solo.

A análise da Figura 4.9 permite observar que no concelho de Lisboa predominam os povoamentos florestais de outras resinosas (36%). Apesar de mais discretos, destacando-se ainda os povoamentos florestais de pinheiro bravo (15 %) e de outras folhosas (14%), com valores relativamente próximos. Por sua vez, a Figura 4.10 revela que as maiores percentagens de sequestro de CO₂ ocorrem nos povoamentos florestais de outras resinosas (37%) e de pinheiro bravo (29 %). Apesar de se evidenciar, a percentagem de sequestro de CO₂ atribuída aos povoamentos florestais de outras folhosas (14%), este é bastante inferior à de pinheiro bravo, embora lhes correspondam áreas semelhantes. Este facto reflecte a elevada capacidade de sequestro da espécie *Pinus Pinaster* (pinheiro bravo) relativamente a outras espécies florestais, inclusive a outras espécies do mesmo género como o *Pinus Pinea* (pinheiro manso).

Os povoamentos florestais de outras folhosas e de pinheiro bravo localizam-se maioritariamente no Parque Florestal de Monsanto. Este parque compreende 29% da área com potencial de sequestro do concelho considerada para o cálculo e é responsável por 73% do total CO₂ sequestrado. Daqui ressalta a importância do Parque Florestal de Monsanto para o sequestro de CO₂ no concelho de Lisboa.

Por fim, com base nos resultados obtidos, pode concluir-se que a que o concelho de Lisboa apresenta uma capacidade média anual de sequestro CO₂ de 51.412 tCO₂.ano⁻¹.

4.3 Balanço de CO₂

4.3.1 Abordagem metodológica

O cálculo do balanço de CO₂ para o concelho de Lisboa foi efectuado de acordo com a expressão:

$$CO_{2Lisboa} = E_{CO_{2Lisboa}} - S_{CO_{2Lisboa}} \quad (\text{Equação 4})$$

Em que:

$CO_{2Lisboa}$ – Balanço de CO₂ no concelho de Lisboa [t CO₂]

$E_{CO_{2Lisboa}}$ – Quantidade de CO₂ emitido no concelho de Lisboa [t CO₂]

$S_{CO_{2Lisboa}}$ – Quantidade de CO₂ sequestrado no concelho de Lisboa [t CO₂]

Para a realização dos cálculos supracitados foram utilizados os resultados obtidos nas duas etapas anteriores.

4.3.2 Balanço de CO₂

Após a determinação da taxa de emissões de CO₂ e de sequestro procedeu-se ao cálculo de balanço de CO₂ de acordo com a Equação 4. Na Tabela 4.9 encontram-se compilados os principais resultados obtidos do estudo efectuado.

Tabela 4.9: *Síntese de resultados obtidos: emissões, sequestro e balanço de CO₂, para o concelho de Lisboa no ano de 2002.*

	concelho de Lisboa
Emissões de CO ₂ [ton CO ₂ /ano]	3 705 552
Sequestro de CO ₂ [ton CO ₂ /ano]	51 413
Balanço de CO ₂ [ton CO ₂ /ano]	3 654. 140

De acordo com os resultados obtidos, a biomassa do concelho de Lisboa conseguiu sequestrar apenas 1,4% das emissões de CO₂ do concelho referentes ao ano de 2002.

Salienta-se que apesar de não ter sido considerada a taxa de sequestro de cerca 1 357 ha (51% dos espaços classificados como potenciais sumidouros de carbono) por

insuficiência de dados disponíveis relativos aos factores de sequestro e à caracterização da composição vegetal de algumas áreas, a taxa de sequestro obtida é muito baixa relativamente à taxa de emissões do concelho. Seriam necessários 190 890 ha de espaços com potencial de sequestro igual ao da área de estudo, sendo muito superior à área geográfica do concelho de Lisboa.

Estes resultados evidenciam a necessidade de adopção de medidas de mitigação das emissões de efeito de estufa no concelho de Lisboa, na medida em que os processos naturais de remoção do CO₂ da atmosfera não conseguem equilibrar as elevadas emissões actuais.

5 Conclusões

Num período em que as alterações climáticas já se fazem sentir por todo o mundo, a redução das emissões de GEE tornou-se uma prioridade. Neste contexto, surgiram diversas iniciativas com o objectivo de reduzir as emissões destes gases, das quais se destaca a criação do Protocolo de Quioto, de abrangência global. A nível da União Europeia foi criado recentemente o Pacto dos Autarcas, que visa o cumprimento de metas de redução de emissões promovendo uma redução a nível municipal. Apesar de unitariamente pouco significativas, num contexto mundial, as reduções de emissões conseguidas a nível municipal ganham dimensão no seu conjunto, dada a área de abrangência desta iniciativa - toda a Europa.

O estudo realizado incidiu sobre o concelho de Lisboa, tendo-se determinado que a utilização de recursos energéticos na sua área de abrangência resultou na emissão de 3 705 552 ton CO₂ no ano de 2002. Determinou-se também que a área de estudo apresenta uma capacidade de sequestro de cerca de 51 413 ton CO₂.ano⁻¹, concluindo-se que o concelho Lisboa contribuiu para as emissões globais de CO₂ com cerca 3 654 140 ton CO₂.

A determinação da capacidade de sequestro de carbono pela biomassa do concelho permitiu também verificar que este não é significativo no concelho de Lisboa, na medida em que representa apenas 1,6 % do total de CO₂ emitido. De acordo com o estudo efectuado, seria necessária uma área de 190 890 ha de espaços com potencial de sequestro análogo ao estudado, para se obter um balanço de emissões igual a zero. Dada a inviabilidade desta solução, o estudo efectuado evidencia a importância de adoptar outras medidas de mitigação. No entanto, apesar do sequestro de carbono não se apresentar, por si só, como solução para a mitigação das emissões de CO₂ no concelho de Lisboa, considera-se fundamental dar continuidade ao investimento em espaços verdes. Para além da qualidade de vida que estas áreas proporcionam, as espécies arbóreas situadas junto a edifícios, se bem localizadas, podem ainda

apresentar um contributo significativo para a redução dos consumos energéticos em manutenção do conforto térmico nesses mesmos edifícios.

Ao optar pela criação de sumidouros naturais como medida de mitigação de emissões de GEE, julga-se essencial que seja considerada a capacidade de sequestro das espécies arbóreas e arbustivas a integrar nestas áreas, na medida em que a capacidade de sequestro é variável de espécie para espécie. Salienta-se também a importância de efectuar uma gestão florestal adequada, de modo a potenciar ao máximo a capacidade de sequestro da vegetação e a evitar a que esta se torne numa fonte de GEE (Pereira *et al.*, 2007). A gestão adequada dos espaços florestais pode ainda contribuir para a utilização dos resíduos vegetais como fonte energética (biomassa), e assim apresentar mais um contributo para a redução do CO₂ atmosférico, neste caso, pela não utilização de combustíveis fósseis.

Em média, cada cidadão lisboeta emite cerca de 7 ton CO₂/ano, valor ligeiramente inferior às cerca de 10 tCO₂eq/hab emitidas por 5 das cidades estudadas por Kennedy *et al.* (2009) e superior à cidade de Barcelona cujas emissões *per capita* rondam as 4,2 tCO₂eq/hab.ano⁻¹. Estas diferenças deverão resultar, em parte, da elevada proporção de energias renováveis no total de energia eléctrica nacional, sendo acentuados pelos climas amenos do concelho de Lisboa e pela baixa actividade industrial do concelho.

A análise dos resultados obtidos para as diferentes metodologias de cálculo das emissões de CO₂ evidencia a relevância do mix energético nas as emissões GEE associadas aos consumos de electricidade e a necessidade de utilizar factores de emissão específicos para cada região/país, actualizados anualmente. Estes factos são notórios quando comparadas as emissões de CO₂ associadas a esta fonte energética apresentadas na matriz carbónica de Lisboa e determinadas pela metodologia *standard*.

Observando os resultados da matriz carbónica de Lisboa, constata-se as elevadas taxas de emissão associadas ao consumo de combustíveis no sector

transportes. Estes resultados são consequência, em parte, do estatuto de Lisboa como cidade de entrada e como cidade de atravessamento. Neste âmbito, a introdução de taxas de entrada no concelho e da oferta de eixos viários periféricos alternativos poderá contribuir para a redução destes consumos. O facto de o concelho de Lisboa estar a perder população residente, mantendo-se no entanto como centro de trabalho, serviços, cultura e de lazer, leva a uma redução das deslocações de proximidade, muitas vezes realizadas a pé, aumentando as deslocações de média/longa distância, realizadas frequentemente em transportes individuais. Uma aposta na qualidade e disponibilidade de transportes colectivos, assim como o incentivo da população à prática de carpooling poderão apresentar-se como contributos para a redução das emissões de carbono associadas a estes consumos. No caso de viagens de média distância, a oferta de bicicletas para aluguer ou empréstimo poderá surgir também como opção, sendo no entanto condicionada pela irregularidade do terreno característica da cidade de Lisboa, a *“cidade das sete colinas”*. As recentes iniciativas de disponibilização de pontos de carregamento de veículos eléctricos constituem também uma etapa fundamental para mitigação das emissões de CO₂ associadas ao sector dos transportes. É, contudo, essencial que se realizem também acções de divulgação e promoção destes veículos que geram muito menos emissões de CO₂ que os veículos convencionais e que os veículos híbridos, inclusive, mesmo quando carregados com energia eléctrica produzida a partir de combustíveis. A promoção da utilização de veículos híbridos e a incorporação desta tecnologia nas frotas municipais apresenta-se também como uma solução para a mitigação de GEE, na medida em que os veículos híbridos apresentam consumos de combustível inferiores aos dos veículos convencionais, que podem atingir até 3,3 litros por cada 100 km (Henson, 2009).

Outro grande sector consumidor de recursos energéticos na área urbana de Lisboa é o sector serviços, revelando a necessidade de criar incentivos à promoção da eficiência energética neste sector. A heterogeneidade deste sector em termos de actividades desenvolvidas e de características dos edifícios de serviços, desde pequenas lojas a grandes superfícies comerciais, por exemplo, requer que a intervenção no sector para melhoria do seu desempenho energético seja distinta em

função do tipo de edifício e de actividades nele desenvolvidas. O incentivo à realização de auditorias energéticas poderá permitir a correcção de consumos desnecessários de energia e assim reduzir as emissões de CO₂ associadas à actividade deste sector.

Ao nível do sector doméstico, destaca-se a idade relativamente elevada do parque habitacional de Lisboa, que incorre numa maior ineficiência dos edifícios e consequentemente numa maior emissão de CO₂ associada fundamentalmente à manutenção do conforto térmico dos edifícios. Ainda neste sector, referem-se também os consumos energéticos associados ao aquecimento de água que poderiam ser minimizados através da instalação de painéis solares. Estes equipamentos podem ainda ser associados a sistemas de aquecimento ambiente levando também à redução das emissões de GEE associadas à manutenção do conforto térmico dos edifícios.

Salienta-se ainda a necessidade de sensibilizar a população para uma menor e mais eficiente utilização de recursos, com especial incidência sobre as classes sociais com rendimentos mais elevados. Estas classes sociais tendem a produzir mais águas residuais e RSU, a consumir mais energia para aumento de conforto e alimentação de equipamento eléctrico e electrónico, a possuir habitações maiores e a preferir o uso do veículo individual. Para além disso esta classe não tem, tipicamente, tanta sensibilidade ao aumento de tarifas, não havendo um efeito tão acentuado de redução de consumos motivada pelo aumento dos preços da energia ou das taxas de resíduos.

Considerando a elevada taxa de urbanização no concelho de Lisboa, destaca-se também o potencial de redução de emissões de GEE das “coberturas verdes” dos telhados dos edifícios. Para além destas coberturas contribuírem para o sequestro de CO₂, contribuem também para manter o edifício mais fresco e para a absorção de águas pluviais (Henson, 2009).

Relativamente à metodologia adoptada, refere-se o facto de não ter sido possível determinar a capacidade de sequestro de CO₂ para um ano específico devido à pouca informação disponível. Como tal, para o trabalho efectuado foi necessário considerar todos os estudos disponíveis indicativos de valores de PLE de ecossistemas

similares aos encontrados no concelho de Lisboa, independentemente do ano de referência, e assumir que a PLE apresenta pouca variabilidade anual. Contudo, a produtividade primária de um ecossistema é bastante variável de ano para ano, dependendo das condições climáticas verificadas nesse período e podendo, inclusive, assumir valores negativos em anos mais secos (Pereira *et al.*, 2007). Admite-se assim que a consideração efectuada poderá ter introduzido algum erro aos cálculos efectuados que apenas poderia ter sido eliminado se fossem conhecidos os valores efectivos de PLE dos ecossistemas localizados na área de estudo para um determinado ano.

A especificidade dos factores de sequestro para cada espécie vegetal e para cada localização geográfica foi também tida em atenção. Assim, tentou-se minimizar o efeito destes factores procurando dados de PLE específicos para ecossistemas com a mesma composição vegetal dos encontrados no concelho de Lisboa e para localizações em Portugal Continental, de modo assegurar as mesmas condições climáticas. Contudo, não foi possível ter em conta todos os factores relevantes, destacando-se por exemplo, a importância da produtividade dos solos na PLE, entre outros.

De modo a complementar o trabalho aqui apresentado e dar resposta a alguma indisponibilidade de informação encontrada no decurso deste trabalho, apresentam-se algumas sugestões de trabalho futuro.

Considera-se que seria interessante incluir neste estudo as emissões associadas à gestão de resíduos e águas residuais assim como a capacidade de sequestro das árvores de arruamento. Um estudo realizado por Almeida (2006) mostrou que as árvores de arruamento do concelho de Lisboa sequestram cerca de 21 030 ton CO₂.ano⁻¹.

Seria também relevante a realização de outros estudos que confirmem o valor efectivo dos factores de sequestro das árvores de Lisboa, de modo a validar as estimativas realizadas, e a avaliar em que medida as condições locais, em termos de microclima e qualidade do ar de um meio urbano com a dimensão de Lisboa,

influenciam a capacidade de sequestro das plantas relativamente a meios mais rurais.

Atendendo à localização privilegiada da área urbana de Lisboa junto ao estuário do Tejo e considerando a capacidade de dissolução do CO_2 em meios aquosos (o CO_2 apresenta um coeficiente de solubilidade em água doce de $\alpha_{\text{CO}_2} = 0,878 \text{ m}^3$ de gás por m^3 de água a 20°C) assim como a existência de (micro)organismos vegetais nestes ecossistemas (Alvera-Azcárate et al., 2002), admite-se que este poderá constituir-se como um potencial sumidouro de carbono, considerando-se que seria de todo o interesse que estudos posteriores pudessem incorporar a capacidade de sequestro do estuário do Tejo.

6 Referências Bibliográficas

- Ahrens, C. D. (2003). *Meteorology today: An introduction to Weather, Climate and the Environment* (7th Edition). Thomson Brooks/Cole, Pacific Grove. 624 pp.
- Alcoforado, M., Andrade, H., Lopes, A. e Vasconcelos, J. (2009). Application of climatic guidelines to urban planning. The example of Lisbon (Portugal). *Landscape and Urban Planning*, **90**: 56 - 65.
- Almeida, A. L. (2006). O VALOR DAS ÁRVORES. Árvores e Floresta Urbana de Lisboa. Tese para obtenção do grau de Doutor em Arquitectura Paisagista. Universidade Técnica de Lisboa – Instituto Superior de Agronomia, Lisboa. 344 pp.
- Alvera-Azcárate, A., Ferreira, J.G. e Nunes, J.P. (2002). Modelling eutrophication in mesotidal and macrotidal estuaries. The role of intertidal seaweeds. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **57**: 715 - 724.
- APA (2010). *QualAr – Base de dados on-line sobre qualidade do ar*. Agência Portuguesa do Ambiente, Lisboa. Disponível em: <<http://www.qualar.org/>>. Consultado em 2010, 29 de Setembro.
- Borrego, C., Lopes, M., Ribeiro, I. e Carvalho, A. (2009). As alterações climáticas: uma realidade transformada em desafio. *Debater a Europa*, **1**: 15 - 40. Disponível em: <<http://www.europe-direct-aveiro.aeva.eu/debatereuropa/>>. Consultado em 2010, 18 de Setembro.
- Bravo, F., Bravo-Oviedo, A. e Diaz-Balteiro, L. (2008). Carbon sequestration in Spanish Mediterranean forests under two management alternatives: a modeling approach. *European Journal of Forest Research*, **127**: 225 - 234.
- Carrão, H., Caetano, M., Freire, S. e Nunes, A. (2002). *Carta de Ocupação do Solo e Avaliação do Estado da Vegetação com Imagens de Satélite para Prevenção de Fogos Florestais*. Instituto Geográfico Português, Lisboa.

- CML (2005a). *Diagnóstico Sócio-urbanístico da Cidade de Lisboa. Uma perspectiva censitária (2001). Coleção de Estudos Urbanos: Lisboa XXI, Nº. 4.* Câmara Municipal de Lisboa - Pelouro de Licenciamento Urbanístico e Planeamento Urbano, Lisboa. 318 pp.
- CML (2005b). *Lisboa: o desafio da mobilidade. Coleção de Estudos Urbanos: Lisboa XXI, Nº. 7.* Câmara Municipal de Lisboa - Pelouro de Licenciamento Urbanístico e Planeamento Urbano, Lisboa. 191 pp.
- CML (2008). CML e CCDR-LVT querem dar um novo ar a Lisboa. *A Nossa Lisboa. Newsletter alfacinha.* Disponível em: <[http://anossalisboa.cm-lisboa.pt/index.php?id=1879&tx_ttnews\[tt_news\]=1716&tx_ttnews\[backPid\]=1879&cHash=d4a636dcb2](http://anossalisboa.cm-lisboa.pt/index.php?id=1879&tx_ttnews[tt_news]=1716&tx_ttnews[backPid]=1879&cHash=d4a636dcb2)>. Consultado em 2010, 15 de Outubro.
- CML (2009). *Guia dos Parques, Jardins e Geomonumentos de Lisboa.* Câmara Municipal de Lisboa - Pelouro do Ambiente, Espaços Verdes, Plano Verde, Higiene Urbana e Espaço Público, Lisboa. 371 pp.
- Correia, A., Evangelista, M., Ochoa, P. e Pereira, J. S. (2008). O sequestro de carbono em ecossistemas de pinhal manso no sul de Portugal. Instituto Superior de Agronomia. Disponível em: <www.apoa.pt/xFiles/scContentDeployer_pt/docs/Doc141.pdf>. Consultado em 2010, 17 de Junho.
- COMO (2010). *How to develop a Sustainable Energy Action Plan (SEAP) – GUIDEBOOK.* Publications Office of the European Union - Covenant of Mayors Office, Luxembourg.
- D'Avignon, A., Carloni, F. A., Rovere, E.L. e Dubeux, C. B. S. (2010). Emission inventory: An urban public policy instrument and benchmark. *Energy Policy*, **38**: 4838 - 4847.
- DGF (2001). *Inventário Florestal Nacional. 3.ª Revisão.* Direcção-Geral das Florestas. Disponível em: <<http://www.afn.min-agricultura.pt/ifn/>>. Consultado em 2010, 7 de Janeiro.

- DMAU (s.d.). *Espaços Verdes de Lisboa*. Câmara Municipal de Lisboa - Departamento de Ambiente e Espaços Verdes. Obtido em 13 de Dezembro de 2009, de Lisboa Verde: <http://Lisboaverde.cm-Lisboa.pt>
- EEA (1995). *Europe's Environment - The Dobris Assessment*. European Environment Agency, Copenhagen.
- EEA (2005). *State of the environment*. European Environment Agency, Copenhagen.
- EEA (2006). *Urban sprawl in Europe - The ignored challenge*. European Environment Agency, Copenhagen.
- EEA (2008). *Impacts of Europe's changing climate*. European Environment Agency, Copenhagen.
- Fabião, A., Correia, A.P., Pereira, J.S., Pita, G., Carneiro, M., Nogueira, C., Silva, J., Rodrigues, A., Madeira, M. e Banza, J. (2005). Balanço de Carbono no Eucaliptal – Comparação entre o Fluxo Turbulento de CO₂ e a Estimativa do Modelo CO2FIX V3.1. 5º Congresso Florestal Nacional. Instituto Superior de Agronomia. Disponível em: <<http://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/576>>. Consultado em 2010, 2 de Julho.
- GDR (2009). *Cartografia CORINE Land Cover 2006 para Portugal Continental*. Instituto Geográfico Português - Grupo de Detecção Remota. Disponível em: <<http://www.igeo.pt/gdr/projectos/clc2006/>>. Consultado em 2010, 7 de Janeiro.
- Harrison, R. (1992). *Understanding our Environment: An Introduction to Environmental Chemistry Chemistry and Pollution* (2nd Edition). The Royal Society of Chemistry, Cambridge. 326 pp.
- Henson, R. (2009). *Alterações Climáticas. Rough Guide*. Civilização, Porto. 374 pp.
- Houghton, J. (2004). *Global Warming. The complete briefing* (3rd Edition). University Press, Cambridge. 382 pp.

- IGP (2006). *Metadados da Carta Administrativa Oficial de Portugal V5.0*. Instituto Geográfico Português, Lisboa. Disponível em: <<http://www.igeo.pt/gdr/projectos/clc2006/>>. Consultado em 2009, 29 de Dezembro.
- INE. (2008). *Anuário Estatístico da Região Lisboa*. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa.
- IPCC . (2007). *Climate Change 2007 - The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC* . Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- Kennedy, C., Steinberger, J., Gasson, B., Hansen, Y., Hillman, T., Havránek, M., Pataki, D., Phdungsilp, A., Ramaswami, A. e Mendez G.V. (2009). Greenhouse gas emissions from global cities. **43**: 7297 - 7302.
- Lisboa E-Nova. (2005). *Matriz Energética do concelho de Lisboa*. Lisboa E-Nova – Agência Municipal de Energia-Ambiente de Lisboa, Lisboa.
- Lisboa E-Nova. (2008). *Estratégia Energético-Ambiental para LISBOA*. Lisboa E-Nova – Agência Municipal de Energia-Ambiente de Lisboa, Lisboa.
- Mateus, J., Pita, G., Rodrigues, A. e Oliveira, H. (2006). Seasonal evolution of the Evapotranspiration regime and carbon assimilation over a *eucalyptus globulus* plantation. *Silva Lusitana*, **14**: 135 - 147.
- Molin, P. G. (2010). *Estimation of Vegetation Carbon Stock in Portugal Using Land Use / Land Cover Data*. Master Dissertation on Science in Geospatial Technologies. Universidade Nova de Lisboa - Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Lisboa. 59 pp.
- Monte, M. M. (2010). *Contributo para o estudo da valorização energética de biogás em estações de tratamento de águas residuais*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Sanitária. Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa. 138 pp.

- Pereira, H. M. Domingos, T. Vicente, L. Proença, V. (2009) *Ecossistemas e bem-estar humano. Avaliação para Portugal do Millennium Ecosystem Assessment*. Escolar Editora. 734 pp.
- Pereira, J.S., Mateus, J.A., Aires, L.M., Pita, G., Pio, C., David, J.S., Andrade, V., Banza, J., David, T.S., Paço, T.A. e Rodrigues, A. (2007). Net ecosystem carbon exchange in three contrasting Mediterranean ecosystems - the effect of drought. *Biogeosciences*, **4**: 791 - 802
- Rodrigues, A.M., Pita, G.P. e Mateus, J. (2005). Turbulent fluxes of carbon dioxide and water vapour over an eucalyptus forest in Portugal. *Silva Lusitana*, **13**: 169 - 180.
- Soegaard, H. e Moller-Jensen, L. (2003). Towards a spatial CO₂ budget of a metropolitan region based on textural image classification and flux measurements. *Remote Sensing of Environment*, **87**: 283 - 294.
- Sousa, M., Rodrigues, C. e Oliveira, G. (2008) Sequestração geológica de dióxido de carbono: notas sobre o estado-da-arte. *Revista da Faculdade de Ciência e Tecnologia*, **5**: 6 - 20. Disponível em: <<https://bdigital.ufp.pt/dspace/bitstream/10284/950/3/6-20.pdf>> Consultado a: 18 de Setembro de 2010.
- United Nations (1997). Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. United Nations, 3rd session of the Conference of the Parties, Kyoto, Japão.
- Valorsul (2003). Utilização do sistema. Valorsul, Loures. Disponível em: <<http://www.valorsul.com>>. Consultado em 2010, 11 de Agosto.
- Voronin, P. Y. e Black, C. C. (2005). The importance and place of the photosynthetic carbon sequestration in the organic branch of its global cycle. *Russian Journal of Plant Physiology*, **52**: 69 - 76.

7 Anexos

Anexo A: Factores de Emissão de CO₂ Standard

Tabela A.1: Factores de emissão de CO₂ *standard* para os principais combustíveis de utilização regional (COMO, 2010)

TABLE C. CO ₂ EMISSION FACTORS FOR FUELS (IPCC, 2006)		
FUEL TYPE	CO ₂ EMISSION FACTOR (Kg/ TJ)	CO ₂ EMISSION FACTOR (t/MWh)
Crude Oil	73300	0.264
Orimulsion	77000	0.277
Natural Gas Liquids	64200	0.231
Motor Gasoline	69300	0.249
Aviation Gasoline	70000	0.252
Jet Gasoline	70000	0.252
Jet Kerosene	71500	0.257
Other Kerosene	71900	0.259
Shale Oil	73300	0.264
Gas oil/diesel	74100	0.267
Residual Fuel Oil	77400	0.279
Liquefied Petroleum Gases	63100	0.227
Ethane	61600	0.222
Naphtha	73300	0.264
Bitumen	80700	0.291
Lubricants	73300	0.264
Petroleum Coke	97500	0.351
Refinery Feedstocks	73300	0.264
Refinery Gas	57600	0.207
Paraffin Waxes	73300	0.264
White Spirit & SBP	73300	0.264
Other Petroleum Products	73300	0.264
Anthracite	98300	0.354
Coking Coal	94600	0.341
Other Bituminous Coal	94600	0.341
Sub-Bituminous Coal	96100	0.346
Lignite	101000	0.364
Oil Shale and Tar Sands	107000	0.385
Brown Coal Briquettes	97500	0.351
Patent Fuel	97500	0.351
Coke oven coke and lignite Coke	107000	0.385
Gas Coke	107000	0.385
Coal Tar	80700	0.291
Gas Works Gas	44400	0.160
Coke Oven Gas	44400	0.160
Blast Furnace Gas	260000	0.936
Oxygen Steel Furnace Gas	182000	0.655
Natural Gas	56100	0.202
Municipal Wastes (non-biomass fraction)	91700	0.330
Industrial Wastes	143000	0.515
Waste Oil	73300	0.264
Peat	106000	0.382

Anexo B: Matriz carbónica do concelho de Lisboa

Tabela B.1: Segunda versão da matriz de emissões CO₂ do concelho de Lisboa para o ano 2002 [tCO₂eq.ano⁻¹], actualizada em 2008 (Lisboa E-Nova, 2008)

Tipologias de utilização			Formas de Energia - Primária (tep)								
			Electricidade (EP)	Gás Auto	Carvão	Gasolina	Gás Natural	GPL	Fuel óleo	Outros	TOTAL
Edifícios	Serviços	Hotelaria/Restauração	284060	0	0	0	25249	682	557	0	310549
		Banca e Seguros	286447	0	0	0	3838	0	0	1	290286
		Administração Pública	286771	0	0	0	4040	454	279	17	231561
		Saúde	108611	0	0	0	15150	227	3902	0	127890
		Educação	146804	0	0	0	4646	227	0	1	157678
		Outros	1138629	0	0	0	35349	26582	27869	563	1228992
	Sub-total parcial (serviços)		2191323	0	0	0	88272	28173	32606	563	2340956
	Residencial	Aquecimento de água	33419	0	0	0	121290	0	0	0	154708
		Frio doméstico	239900	0	0	0	0	0	0	0	239900
		Aquecimento ambiente	182610	0	0	0	15395	0	0	0	198005
		Preparação de refeições	51322	0	0	0	64077	0	0	0	115399
		Iluminação	130095	0	0	0	0	0	0	0	130095
		Lavagem mecânica	77580	0	0	0	0	0	0	0	77580
		Outros	114579	0	0	0	0	0	0	0	114579
		Sub-total parcial (residencial)		829504	0	0	0	200762	0	0	0
	Sub-total (edifícios)		3020827	0	0	0	317475	35606	583	3371491	
Transportes	Rodoviário	0	5443	1241883	764016	0	0	0	0	2011342	
	Ferroviário	140837	0	0	0	0	0	0	0	140837	
	Fluvial	0	0	8004	0	0	0	0	0	8004	
	Sub-total (transportes)		140837	5443	1249887	764016	0	0	0	0	2160183
Indústria			177836	0	0	0	0	19	6689	35	184579
Outros			87128	0	0	0	0	0	1951	87	89165
TOTAL			3426628	5443	1249887	764016	317492	41246	704	5805416	

Tabela B.2: Primeira versão da matriz de emissões CO₂ do concelho de Lisboa para o ano 2002 [tCO₂eq.ano⁻¹], realizada em 2005 (Lisboa E-Nova, 2008)

Tipologias de utilização			Formas de energia - Emissões de CO ₂ eq [tonCO ₂ eq]								
			Electricidade	Gas Auto	Gasóleo	Gasolina	Gas natural	GPL	Fuelóleo	Outros	Total
Edifícios	Serviços	Hotelaria / Restauração	123157	0	0	0	25437	616	662	37	149908
		Banca e Seguros	124261	0	0	0	3785	2	0	28	128076
		Administração Pública	98124	0	0	0	4079	470	339	662	103673
		Saúde	46894	0	0	0	15171	141	4007	0	66213
		Educação	63756	0	0	0	4674	142	0	35	68607
		Outros	493459	0	0	0	35625	26828	28464	17308	601683
		Sub-total parcial (serviços):	949651	0	0	0	88770	28199	33471	18069	1118159
	Residencial	Aquecimento de água	14500	0	0	0	116924	0	0	5827	137251
		Frio doméstico	104150	0	0	0	0	0	0	104150	
		Aquecimento ambiente	79245	0	0	0	14893	0	0	5827	99966
		Preparação de refeições	22122	0	0	0	61796	0	0	83919	
		Iluminação	56255	0	0	0	0	0	0	56255	
		Lavagem mecânica	33456	0	0	0	0	0	0	33456	
		Outros	49684	0	0	0	0	0	0	49684	
		Sub-total parcial (residencial):	359413	0	0	0	193614	0	11654	564682	
	Sub-total (edifícios):		1309064	0	0	0	310582	33471	29724	1682841	
Transportes	Rodoviário		0	5718	924858	580464	0	0	0	1511040	
	Ferroviário		60941	0	0	0	0	0	0	60941	
	Fluvial		0	0	8019	0	0	0	0	8019	
	Sub-total (transportes):		60941	5718	932877	580464	0	0	0	1580000	
Indústria			77205	0	0	0	5701	5405	301235	1176	390722
Iluminação Pública			37739	0	0	0	0	0	0	0	37739
Outros			38619	0	0	0	0	1647	0	2670	42936
Total:			1523567	5718	932877	580464	233550	89788	334706	33569	3734236

Anexo C: Factores de Conversão de Unidade de Energia

Tabela C.1: Factores de conversão de unidade de energia (COMO, 2010)

TABLE A. BASIC CONVERSION FACTORS				
FROM (MULTIPLY BY)	TO			
	TJ	Mtoe	GWh	MWh
TJ	1	2.388×10^{-5}	0.2778	277.8
Mtoe	4.1868×10^4	1	11 630	11 630 000
GWh	3.6	8.6×10^{-5}	1	1 000
MWh	0.0036	8.6×10^{-8}	0.001	1

A unit converter is available at the website of the International Energy Agency (IEA): <http://www.iea.org/stats/unit.asp>

Anexo D: Classes de uso do solo com potencial de sequestro de carbono no concelho de Lisboa e respectivas áreas

Tabela D.1: Classes de uso do solo com potencial de sequestro de carbono no concelho de Lisboa e respectivas áreas

Classes de uso do solo	Área [ha]
Áreas principalmente agrícolas com espaços naturais importantes	46,65
Citrinos	2,19
Cultura anual + Outras folhosas	33,73
Cultura anual + Pinheiro bravo	3,06
Culturas anuais + Olival	26,91
Culturas anuais + Pomar	10,53
Espaços verdes (não florestais) para as actividades desportivas e de lazer	52,49
Espaços verdes urbanos (florestais)	93,99
Espaços verdes urbanos (zona verde urbana ou de protecção)	148,82
Mistos de pomares	11,65
Olival	36,31
Outras folhosas (Fd)	107,80
Outras folhosas (grau de coberto de 30% a 50 %)	10,80
Outras folhosas (grau de coberto superior a 50%)	6,65
Outras folhosas (zona verde urbana ou de protecção)	64,11
Outras folhosas + Outras resinosas (grau de coberto de 10% a 30 %)	6,63
Outras folhosas + Outras resinosas (zona verde urbana ou de protecção)	66,68
Outras folhosas + Pinheiro bravo (zona verde urbana ou de protecção)	7,55
Outras folhosas + Pinheiro manso (grau de coberto superior a 50%)	2,32
Outras folhosas + Pinheiro manso (zona verde urbana ou de protecção)	2,80
Outras resinosas (Rd)	475,29
Outras resinosas + Outras folhosas (grau de coberto de 30% a 50 %)	5,56

continua

Continuação

Classes de uso do solo	Área [ha]
Outras resinosas + Outras folhosas (grau de coberto superior a 50%)	3,29
Outras resinosas + Outras folhosas (zona verde urbana ou de protecção)	11,95
Outros (estufas, viveiros, etc.)	2,55
Pastagens naturais pobres	20,37
Pinheiro bravo (grau de coberto de 30% a 50 %)	0,94
Pinheiro bravo (grau de coberto superior a 50%)	1,21
Pinheiro bravo (Pb)	197,50
Pinheiro bravo + Eucalipto (grau de coberto superior a 50%)	7,81
Pinheiro bravo + Outras folhosas (grau de coberto de 30% a 50 %)	5,35
Pinheiro bravo + Pinheiro manso (grau de coberto superior a 50%)	2,06
Pinheiro manso (grau de coberto de 30% a 50 %)	3,71
Pinheiro manso (Pm)	19,75
Pinheiro manso (zona verde urbana ou de protecção)	63,22
Pomar + Cultura anual	3,15
Pomar + Olival	4,51
Regadio	23,43
Sapais	8,14
Sequeiro	118,40
Sistemas culturais e parcelares complexos	276,38
Vegetação arbustiva alta e Outras Folhosas degradado ou em transição	4,52
Vegetação arbustiva alta e Pinheiro bravo degradado ou em transição	0,16
Vegetação arbustiva alta e Pinheiro manso degradado ou em transição	43,81
Vegetação arbustiva baixa- matos	624,81
Vinha	16,21

Anexo E: Valores de PLE

Tabela E.1: Valores de PLE para ecossistemas semelhantes aos ecossistemas com potencial de sequestro de CO₂ do concelho de Lisboa.

Espécie	Factor de sequestro [tC.ha ⁻¹ .ano ⁻¹]		Fonte
	min	máx	
Cultura de sequeiro de Primavera/Verão	1,9	2,1	Pereira et al, 2009
Cultura de regadio de Primavera/Verão	7,7	8,5	Pereira et al, 2009
Culturas de sequeiro ou regadio de Outono/Inverno com permanência de resíduos no solo	7,7	8,5	Pereira et al, 2009
Culturas de sequeiro ou regadio de Outono/Inverno sem permanência de resíduos no solo	1,9	2,1	Pereira et al, 2009
Pousio	1,9	2,1	Pereira et al, 2009
Pastagens permanentes	5,0		Pereira et al, 2009
Pastagens naturais	-1,8	7,0	Pereira et al, 2007 Pereira et al, 2009
Pastagem	1,9		Correia et al., 2008
Eucaliptal	15,0	32,0	Pereira et al, 2007 Pereira et al, 2009
Eucaliptal	20,9		Pereira et al, 2009
Eucaliptal	5,5		Correia et al., 2008
Eucaliptal	6,5		Fabião et al., 2005
Eucaliptal	6,2		Fabião et al., 2005
Eucaliptal	8,9		Rodrigues et al., 2005
Eucaliptal	7,9		Mateus et al., 2006
Montado	1,0	5,1	Pereira et al, 2007 Pereira et al, 2009
Montado	3,6		Pereira et al, 2007 Pereira et al, 2009
Montado	1,2		Correia et al., 2008
Montado	4,0	8,6	Pereira et al., 2007
Carvalho-negral	5,3		Pereira et al, 2009
Montado + pastagens	4,1	5,4	Pereira et al, 2009
Pinhal	15,0	26,0	Pereira et al, 2009
Pinheiro bravo	15,0	26,0	Fabião et al., 2005 Pereira et al, 2009
Pinheiro manso	1,5		Correia et al., 2008
Floresta portuguesa	5,4		Pereira et al, 2009

Anexo F: Classes de uso do solo com potencial de sequestro de carbono cujo valor de PLE não é conhecido

Tabela F.1: Classes de uso do solo com potencial de sequestro de carbono no concelho de Lisboa, cujo valor de PLE não é conhecido, e respectivas áreas.

Classes de uso do solo	Área [ha]
Áreas principalmente agrícolas com espaços naturais importantes	47
Citrinos	2
Cultura anual + Outras folhosas	34
Cultura anual + Pinheiro bravo	3
Culturas anuais + Olival	27
Culturas anuais + Pomar	11
Espaços verdes (não florestais) para as actividades desportivas e de lazer	52
Espaços verdes urbanos (zona verde urbana ou de protecção)	149
Mistos de pomares	12
Olival	36
Outros (estufas, viveiros, etc.)	3
Pomar + Cultura anual	3
Pomar + Olival	5
Sapais	8
Sistemas culturais e parcelares complexos	276
Vegetação arbustiva alta e Outras Folhosas degradado ou em transição	5
Vegetação arbustiva alta e Pinheiro bravo degradado ou em transição	0
Vegetação arbustiva alta e Pinheiro manso degradado ou em transição	44
Vegetação arbustiva baixa- matos	625
Vinha	16
Total	1753